



**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA - UniCEUB**

**CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO**

**Rodrigo Pinto Dantas**

**GERADOR DE ENERGIA EÓLICA DE PEQUENO PORTE**

**Orientador: Prof. Msc. Luciano Henrique Duque**

Brasília

Dezembro, 2014

**Rodrigo Pinto Dantas**

**GERADOR DE ENERGIA EÓLICA DE PEQUENO PORTE**

Trabalho apresentado ao Centro  
Universitário de Brasília  
(UniCEUB) como pré-requisito  
para a obtenção de Certificado de  
Conclusão de Curso de  
Engenharia de Computação.

Orientador: Prof. Msc. Luciano  
Henrique Duque

Brasília

Dezembro, 2014

**Rodrigo Pinto Dantas**

## **GERADOR DE ENERGIA EÓLICA DE PEQUENO PORTE**

Trabalho apresentado ao Centro Universitário de Brasília (UniCEUB) como pré-requisito para a obtenção de Certificado de Conclusão de Curso de Engenharia de Computação.

Este Trabalho foi julgado adequado para a obtenção do Título de Engenheiro de Computação, e aprovado em sua forma final pela Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas - FATECS.

---

Msc. Prof. Abiezer Amarília Fernandes  
Coordenador do Curso

### **Banca Examinadora:**

---

Msc. Prof. Luciano Henrique Duque  
Orientador

---

Msc. Prof. Luís Cláudio Lopes de Araujo  
UniCEUB

---

Msc. Prof. Henrique M.  
UniCEUB

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, por me dar forças nos momentos difíceis e me iluminar em mais uma etapa da minha vida. À minha mãe Eliane, ao meu pai Francisco e ao meu irmão Lucas por possibilitarem a realização desse sonho e pelo incentivo no decorrer do curso. À minha namorada e aos meus amigos pelo apoio e paciência nos momentos de ausência. Aos meus professores do curso de Engenharia de Computação pelos conhecimentos passados ao longo desses anos, principalmente ao professor Luciano Henrique Duque, por ter sido um excelente orientador neste projeto.

"É muito melhor arriscar coisas grandiosas, alcançar triunfos e glórias, mesmo expondo-se a derrota, do que formar fila com os pobres de espírito que nem gozam muito nem sofrem muito, porque vivem nessa penumbra cinzenta que não conhece vitória nem derrota." (Theodore Roosevelt)

## SUMÁRIO

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO .....	12
1.1. Motivação .....	12
1.2. Objetivos .....	14
1.2.1. Objetivo geral .....	14
1.2.2. Objetivos específicos .....	14
1.3. Metodologia .....	15
1.4. Resultados esperados .....	16
1.5. Organização .....	16
CAPÍTULO 2. REFERENCIAL TEÓRICO .....	18
2.1. Energia Renovável .....	18
2.1.1. Energia Hidrelétrica.....	19
2.1.2. Energia Solar Térmica.....	20
2.1.3. Energia Solar Fotovoltaica .....	21
2.1.4. Energia Eólica .....	22
2.2. Motor de Corrente Contínua .....	23
2.3. Inversor .....	25
2.4. Transformador .....	27
2.5. Retificador .....	28
2.6. Arduino .....	30
2.7. Bateria Recarregável.....	32
2.8. Sistemas de Controle .....	33
2.8.1. Sistemas em Malha Aberta.....	34
2.8.2. Sistemas em Malha Fechada .....	35
CAPÍTULO 3. DESENVOLVIMENTO .....	37
3.1. Introdução .....	37
3.2. Descrição dos Blocos.....	38
3.2.1. Gerador Eólico .....	38
3.2.2. Multivibrador Astável .....	39
3.2.3. Transformador de Tensão.....	41
3.2.4. Ponte Retificadora .....	42

3.2.5.	Leitor de Tensão .....	44
3.3.	Construção do Protótipo .....	47
3.4.	Custos do Protótipo.....	49
CAPÍTULO 4. TESTES E RESULTADOS ALCANÇADOS.....		51
4.1.	Introdução .....	51
4.1.1.	Cenário 1 - Teste de Funcionamento do Gerador Eólico .....	51
4.1.2.	Cenário 2 - Teste de Funcionamento do Astável .....	52
4.1.3.	Cenário 3 - Teste de Funcionamento do Transformador.....	53
4.1.4.	Cenário 4 - Teste de Funcionamento da Ponte Retificadora.....	54
4.1.5.	Cenário 5 - Teste do Leitor de Tensão .....	56
4.1.6.	Cenário 6 - Teste de Utilização de Energia.....	57
CAPÍTULO 5. CONDIÇÕES FINAIS .....		59
5.1.	Conclusões.....	59
5.2.	Sugestões para projetos Futuros .....	59
REFERÊNCIAS .....		61
APÊNDICE A – CÓDIGO DO LEITOR DE TENSÃO.....		63

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Usina Hidrelétrica.....	20
Figura 2.2 – Sistema de Aquecimento Térmico.....	21
Figura 2.3 – Usina Fotovoltaica.....	22
Figura 2.4 – Parque Eólico.....	23
Figura 2.5 - Seção Transversal de um Motor de Imã Permanente.....	25
Figura 2.6 – Multivibrador Astável.....	26
Figura 2.7 – Transformador.....	28
Figura 2.8 – Retificador de Onda Completa.....	29
Figura 2.9 – Forma de Onda da Tensão no Retificador.....	29
Figura 2.10 – Arduino Uno.....	31
Figura 2.11 – IDE Arduino.....	32
Figura 2.12 – Bateria Recarregável.....	33
Figura 2.13 – Controle de Malha Aberta.....	35
Figura 2.14 – Controle de Malha Fechada.....	36
Figura 3.1 – Diagrama de blocos do projeto.....	37
Figura 3.2 – Estrutura de Geração de Energia.....	38
Figura 3.3 – Estrutura de Geração de Energia com Elástico.....	39
Figura 3.4 – Montagem do Astável no Proteus.....	40
Figura 3.5 – Transformador do Protótipo.....	42
Figura 3.6 – Funcionamento da Ponte Retificadora.....	42
Figura 3.7 – Função do Capacitor na Ponte Retificadora.....	43
Figura 3.8 – Ponte Retificadora no Proteus.....	44
Figura 3.9 – Leitor de Tensão no Proteus.....	45
Figura 3.10 – Divisor Resistivo no Proteus.....	46
Figura 3.11 – Leitor de Tensão.....	47
Figura 3.12 – Circuito Amplificador de Tensão e Leitor de Tensão no Proteus.....	48
Figura 3.13 – Placa com o Astável, o Transformador e o Retificador.....	49
Figura 4.1 – Diagrama de Blocos dos Testes.....	51



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Geração Elétrica em GWh.....	12
Tabela 3.1 – Componentes Eletrônicos Utilizados.....	49
Tabela 4.1 – Voltagem Gerada pelo Motor.....	52
Tabela 4.2 – Tabela de Comparação da Leitura de Tensões em Volts.....	56
Tabela 4.3 – Tensão Gerada pelo Protótipo.....	57

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1 – Gráfico do Funcionamento do Astável.....	53
Gráfico 4.2 – Gráfico da Tensão de Pico a Pico no Osciloscópio.....	54
Gráfico 4.3 – Gráfico do Funcionamento do Retificador.....	55
Gráfico 4.4 – Gráfico do Funcionamento do Retificador com Capacitor.....	56

## RESUMO

Este projeto tem o objetivo de desenvolver um sistema que utiliza o vento como fonte limpa e renovável para geração de energia elétrica. Um motor elétrico será responsável por transformar a energia cinética obtida através da rotação de uma hélice em energia elétrica, que será suficiente para alimentar uma carga representada por uma lanterna de emergência em casos de falta de fornecimento de energia elétrica ou em lugares onde o fornecimento de energia seja debilitado, ou de carregar uma bateria recarregável de pequeno porte que permitirá a ampliação da utilização dessa energia de diversas maneiras. A proposta será composta por um sistema de captação da energia cinética, um motor elétrico, um micro controlador Arduino Uno, um circuito capaz de medir a tensão, um transformador de tensão e um circuito integrador. Por meio do circuito responsável pela medição da tensão, o sistema será capaz de medir a produção de energia elétrica gerada pelo protótipo e informá-la através de um display.

**Palavras-chave:** Arduino, transformador de tensão, medidor de energia, energia elétrica, energia eólica, energia renovável.

## ABSTRACT

This project has the objective to develop a system that uses wind as clean and renewable source for electricity generation. An electric motor will be responsible for transforming the kinetic energy obtained by rotating a propeller in electric energy, which will be enough to feed an electric charge represented by an emergency flashlight in case of lack of electricity supply or in places where the supply power is weakened, or charge a small rechargeable battery that will allow extending the use of this energy in various ways. The proposal consists in a kinetic energy capture system, an electric motor, an Arduino Uno microcontroller, a circuit capable of measuring the voltage, a voltage transformer and an integrator circuit. Through the circuit responsible for measuring the voltage, the system will be able to measure the electrical energy production generated by the prototype and inform it through a display.

**Keywords:** Arduino, voltage transformer, power meter, electric energy, wind energy, renewable energy

## CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. Motivação

A preocupação com as formas de se gerar energia aumenta com o passar do tempo, e o investimento em tecnologias capazes de produzir energia elétrica de maneira sustentável é maior a cada ano. Isso se deve à necessidade de se reduzir os gases poluentes emitidos na produção de energia não renovável ou substâncias responsáveis pela poluição do meio ambiente.

A produção de energia elétrica brasileira é baseada fortemente na energia hidráulica, graças à abundância de recursos hídricos que são encontrados em nosso país. Porém, esse meio de produção de energia causa prejuízos ao meio ambiente. Segundo (HINRICHS, 2011), para que se possa construir uma represa ou uma barragem utilizada na produção de energia por hidrelétricas, é necessária a inundação de grandes áreas de terra, o que elimina o habitat de algumas espécies animais e vegetais da região.

Em contrapartida, de acordo com o Balanço Energético Nacional do ano de 2014 (tendo como ano base o ano de 2013) divulgado pela EPE (Empresa de Pesquisa Energética), o Brasil vem aumentando a produção de energia elétrica por outras fontes renováveis, como a eólica e a solar, diversificando a sua forma de produção e utilizando ainda mais os recursos naturais disponíveis no país.

A seguir, a Tabela 1.1 nos apresenta um comparativo da geração energética das principais fontes de produção de energia elétrica do país entre os anos de 2012 e 2013, e podemos observar que houve um crescimento de 30,3% no território nacional com relação à energia eólica.

**Tabela 1.1 – Geração Elétrica em GWh. (Fonte – Balanço Energético Nacional do ano de 2014)**

Fonte	2013	2012	$\Delta$ 13/12
Hidrelétrica	390.992	415.342	-5,9%
Gás Natural	69.017	46.760	47,6%

Biomassa <sup>1</sup>	39.679	34.662	14,5%
Derivados do Petróleo <sup>2</sup>	22.090	16.214	36,2%
Nuclear	14.640	16.038	-8,7%
Carvão Vapor	14.801	8.422	75,7%
Eólica	6.579	5.050	30,3%
Outras <sup>3</sup>	12.241	10.010	22,3%
<b>Geração Total</b>	<b>570.025</b>	<b>552.498</b>	<b>3,2%</b>

<sup>1</sup> Inclui lenha, bagaço de cana e lixo

<sup>2</sup> Inclui óleo diesel e óleo combustível

<sup>3</sup> Inclui outras recuperações, gás de coqueria e outras secundárias

Do ponto de vista dos impactos ambientais, o processo de produção de energia eólica é vantajoso quando comparado aos outros processos mais utilizados no Brasil, pois é inteiramente limpo, não contribui com a emissão de gases poluentes, o impacto na fauna e flora da região onde as usinas são instaladas é mínimo e suas usinas podem ser retiradas dos locais instalados caso seja necessário.

Ainda de acordo com o Plano Energético Nacional, o consumo de energia elétrica no país aumentou, porém o consumo de energia das famílias brasileiras diminuiu 0,1% entre os anos de 2012 e 2013. E se essas residências tivessem um meio sustentável de produção de energia elétrica para uso próprio, com o intuito de diminuir ainda mais a demanda de energia nas empresas fornecedoras?

Devido ao alto investimento necessário para utilizar a energia hidráulica como fonte de energia e a necessidade de suas estações estarem localizadas próximas a grandes reservatórios de água, a alternativa escolhida para contribuir com essa produção é utilizar a energia eólica como forma de geração energética. Nesse contexto o projeto proposto visa desenvolver um protótipo capaz de gerar energia elétrica que seja acessível à maior quantidade de pessoas possível, servindo como uma fonte complementar de fornecimento de energia.

O projeto conta com um sistema composto por uma hélice acoplada a um motor de corrente contínua, um circuito responsável por aumentar a energia elétrica gerada, que é formado por um estável, um transformador de tensão e uma ponte retificadora, um micro controlador e um display que serão responsáveis pela leitura e apresentação da tensão elétrica obtida pelo sistema, uma lanterna de emergência e uma bateria recarregável.

Usando como fonte energética a força do vento, o gerador eólico irá gerar energia através da rotação da hélice de 9 centímetros de diâmetro, de forma que seja capaz de armazenar essa energia em uma bateria de 3,6 volts que poderá ser utilizada em diversos dispositivos que necessitam de uma pequena quantidade de carga, ou auxiliar em um caso de falta de fornecimento de energia com o acendimento de uma lanterna de emergência composta de 12 leds de alta luminosidade e alimentação de 4,5 volts.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo geral**

O objetivo geral desse projeto é desenvolver um sistema capaz de gerar energia elétrica de forma alternativa e limpa utilizando as forças produzidas pelo vento.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

Para atingir o objetivo geral, os objetivos específicos pautam-se em:

- Realizar estudos sobre o referido tema e uma revisão bibliográfica dos materiais que serão utilizados.
- Construir um dispositivo principal capaz de transformar a força eólica em energia elétrica, composto por uma hélice e um motor de corrente contínua.
- Desenvolver um hardware responsável por monitorar a tensão gerada pelo dispositivo principal e a apresentação desse valor através de um display.
- Projetar um sistema capaz de utilizar a energia gerada para carregar uma bateria de pequeno porte, ou acender uma lâmpada de emergência em casos de falta de fornecimento de energia elétrica.
- Desenvolver um dispositivo que seja capaz de gerar energia renovável sem emissão de poluentes.

- Realizar os testes necessários para assegurar o perfeito funcionamento do sistema como um todo.

### **1.3. Metodologia**

Para que o projeto seja bem sucedido, o dispositivo principal deve ser capaz de aproveitar as forças do vento de maneira adequada para que seja possível a geração de energia elétrica. A tensão gerada será medida e poderá ser acompanhada através de um display. Como última etapa, a energia gerada será armazenada em uma bateria e utilizada para acender uma lanterna de LED. Nesse contexto, as seguintes etapas serão realizadas para que o trabalho seja realizado:

- Na primeira etapa do projeto será realizada uma revisão bibliográfica sobre o tema abordado e sobre os componentes que serão utilizados no sistema.
- A segunda etapa do projeto será responsável pela construção de uma estrutura capaz de gerar energia eólica por meio da rotação de uma hélice ligada a um motor de corrente contínua, fazendo com que a energia mecânica obtida seja transformada em energia elétrica.
- Na terceira etapa será construído um sistema composto por um multivibrador astável, um transformador de tensão, e uma ponte retificadora. Esse sistema será responsável por captar a energia gerada em tensão contínua e aumentar o valor da tensão gerada para otimizar a geração de energia do projeto.
- Na quarta etapa um microcontrolador irá medir o valor da tensão gerada pelo sistema e apresentará o resultado em um display em tempo real.
- A quinta etapa será responsável por utilizar a energia gerada como fonte de alimentação para acender a lanterna de LED.
- Na sexta etapa, será feita a carga de uma bateria recarregável com a energia elétrica gerada, caso a lanterna não esteja sendo utilizada.



- A sétima etapa é composta por testes que serão feitos a cada etapa, para assegurar a sua perfeita integração com as etapas anteriores e com o projeto como um todo.

#### **1.4. Resultados esperados**

Com a realização desse projeto, espera-se conseguir utilizar uma fonte de alternativa para gerar energia elétrica, que possa auxiliar nos locais onde o fornecimento de energia elétrica não é adequado, ou auxiliar na falta de fornecimento dessa energia. Adicionalmente, espera-se que a energia gerada seja armazenada de maneira adequada, e que seja suficiente para alimentar dispositivos que necessitam de uma baixa carga de energia.

Esse dispositivo gerador de energia eólica poderá ser utilizado tanto na área urbana, no topo dos prédios e casas, quanto na área rural. Adicionalmente, é esperado que o custo de produção desse dispositivo fosse baixo, para aumentar a sua acessibilidade na sociedade.

#### **1.5. Organização**

O trabalho está estruturado da seguinte forma:

Capítulo 1: Uma contextualização do problema, onde será exposto os objetivos e a motivação para a confecção do protótipo, a metodologia utilizada e os resultados esperados através da sua implementação.

Capítulo 2: Esse capítulo será responsável por apresentar o referencial teórico do projeto, o embasamento necessário para a compreensão do que será proposto. Será explanado o conceito sobre energia elétrica, energia renovável, energia eólica, transformadores de tensão, multivibradores astáveis, retificadores de tensão e sobre os demais componentes utilizados na confecção do protótipo.

Capítulo 3: Nesse capítulo será apresentado como foi feito o desenvolvimento do projeto; as informações sobre o dispositivo que capta energia a eólica e a transforma em

energia elétrica; o circuito construído para a mediação da tensão gerada, composto por um astável; um transformador e um retificador; o armazenamento da energia gerada em uma bateria recarregável; e a utilização dessa energia para o acendimento de uma lanterna de emergência.

Capítulo 4: Terá como conteúdo os testes realizados para assegurar o funcionamento e a integração correta dos componentes do sistema além dos problemas encontrados na construção do protótipo.

Capítulo 5: Esse capítulo terá como conteúdo as conclusões obtidas e sugestões de melhorias para trabalhos futuros.

## **CAPÍTULO 2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1. Energia Renovável**

A energia é extremamente importante em nossas vidas, é encontrada nos mais diversos setores da sociedade, como economia, trabalho, saúde, transporte, relações internacionais, e em nossas vidas particulares a utilizamos de diversas maneiras, seja para iluminar nossas residências, nos aquecer, ou para conservar nossos alimentos.

Atualmente os combustíveis fósseis são vastamente utilizados como fonte de energia devido à sua abundância, baixo custo, e estarem prontamente disponíveis, fazendo com que, junto com a dependência do ser humano à energia, as empresas geradoras, como as maiores petrolíferas, estejam entre as maiores e mais lucrativas do mundo. (GELLER, 2003). Devido à sua importância, a busca de recursos energéticos fósseis no mundo afetam as relações entre os países, sendo motivos de conflitos periódicos.

Entretanto, existem alguns malefícios em usar os combustíveis fósseis como fonte de energia. Ainda segundo (GELLER, 2003), a emissão dos gases poluentes provindos da queima de combustíveis fósseis prejudica a saúde das pessoas devido à poluição do ar causada por esses gases, e o desequilíbrio resultante nos ecossistemas. A queima desses combustíveis libera dióxido de carbono e enxofre, que são os maiores responsáveis pelo efeito estufa, fenômeno que faz com que a temperatura média da terra aumente causando diversas consequências à vida no planeta. Além de causarem sérios prejuízos à natureza, os recursos utilizados como combustíveis fósseis são finitos, o que acaba se tornando um fator a mais para motivar a pesquisa de fontes alternativas de energia.

Devido à crescente preocupação ambiental e diversos estudos e pesquisas na área de produção energética, hoje em dia contamos com diversas alternativas energéticas sustentáveis no mundo, de modo que podemos produzir energia a partir das partículas solares, das forças dos ventos, do movimento das marés, meios esses que utilizam fontes inesgotáveis para produção energética. (TOLMASQUIM, 2004) afirma que:

“Não existe mais dúvida de que as fontes renováveis de energia, aquelas conhecidas como não-tradicionais, terão uma participação cada vez mais relevante na matriz energética global nas décadas vindouras. As projeções mais recentes indicam que esta participação pode chegar em 10% em 2020.”

Será explicado como funciona algumas das fontes de energia renováveis mais utilizadas no mundo, mostrando os benefícios e prejuízos da sua utilização.

### **2.1.1. Energia Hidrelétrica**

A produção de energia elétrica utilizando usinas hidrelétricas pode ser explicada de uma maneira bem simples. A água de um reservatório (geralmente represas ou barragens) que se encontra a um nível mais alto flui em direção à usina hidrelétrica que se encontra a um nível mais baixo através de um grande tubo denominado tubulação de adução, movimentando uma turbina. Em barragens de baixa queda essa distância é menor que 30 metros, podendo chegar a mais de 300 metros em barragens de alta queda. (HINRICHS, 2011).

Apesar de serem capazes de gerar grandes quantidades de energia e não emitir poluentes na sua produção, a construção das represas causam prejuízos à natureza, como a inundação de grandes áreas, destruindo o habitat de algumas espécies animais e vegetais. Ademais, águas quentes estagnadas e com baixa velocidade de movimentação são um risco à saúde pública, sendo também um risco a ser levado em conta. (HINRICHS, 2011).

Existe também a possibilidade de instalação de sistemas hidrelétricos de pequena escala, que são capazes de fornecer energia elétrica suficiente para as necessidades de até 100 casas, desde que não seja utilizada para aquecimento elétrico de água nem de ambientes. Nesse tipo de instalação, a água é desviada de alguma fonte que se encontre em um ponto mais alto do sistema e transportada até a turbina para gerar energia. (HINRICHS, 2011).



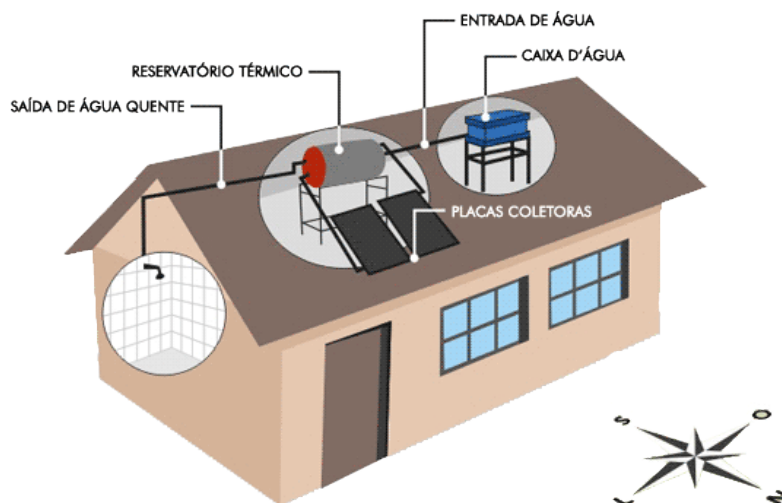
**Figura 2.1 – Usina Hidrelétrica (Fonte: <http://meioambiente.culturamix.com/gestao-ambiental/hidreletricas-ecologicas-conceitos>)**

### **2.1.2. Energia Solar Térmica**

Segundo (PEREIRA, 2012), as aplicações termo solares utilizam a conversão da radiação solar para produzir energia térmica, e podem ser classificadas em ativas e passivas. As aplicações ativas são as que fazem o uso de algum tipo de conversão, como coletores solares, enquanto as passivas apenas aproveitam as condições climáticas locais, fazendo o condicionamento de ambientes, iluminação natural e contribuindo na ventilação nas edificações. Essa área é conhecida como Arquitetura Bioclimática.

No Brasil, essa tecnologia é mais utilizada para aquecimento de água (mais precisamente na substituição dos chuveiros elétricos) e aquecimento de piscinas, utilizando coletores abertos ou fechados.

Um sistema de aquecimento simples pode ser representado de acordo com a Figura 2.2. Ele é dividido em um subsistema de captação, composto pelas placas coletoras solares e tubulações responsáveis por ligar os coletores e reservatórios térmicos; um subsistema de armazenamento, que tem como componente principal o reservatório térmico; e o subsistema de consumo, que representa toda a distribuição hidráulica entre o reservatório térmico e os pontos de consumo. (PEREIRA, 2012).



**Figura 2.2 – Sistema de Aquecimento Térmico (fonte: [http://www.aquecedoresivair.com.br/aquecedor\\_solar3.php](http://www.aquecedoresivair.com.br/aquecedor_solar3.php))**

### **2.1.3. Energia Solar Fotovoltaica**

A tecnologia solar fotovoltaica possibilita a geração de energia elétrica de forma limpa e segura por meio da energia solar, um recurso inesgotável de energia. Porém, a disseminação da produção fotovoltaica de eletricidade não se prende à questões tecnológicas, sendo relacionada também à aspectos políticos e econômicos. (ZILES e BENEDITO, 2012).

É necessário um grande planejamento para a construção das usinas fotovoltaicas de grande porte, levando em conta que possui um tempo de construção considerável e a necessidade de previsões antecipadas do momento certo da entrada da nova usina em funcionamento, para que não haja prejuízos financeiros com capacidades energéticas ociosas e não utilizadas. Por esse motivo, os pequenos sistemas fotovoltaicos se tornam atrativos em setores residenciais e comerciais, podendo acompanhar a demanda dos grandes centros urbanos de maneira mais facilitada. (ZILES e BENEDITO, 2012).

Essa tecnologia não gera nenhum tipo de poluentes sólidos, líquidos ou gasosos ao produzir energia e também não emite ruídos. A emissão de poluentes no processo de fabricação de seus componentes não é alta, e é extremamente controlada. Infelizmente o

custo da energia produzida por sistemas fotovoltaicos ainda é alto quando comparado com a tarifa aplicada ao consumidor residencial, o que dificulta a disseminação dessa tecnologia. (ZILES e BENEDITO, 2012).



**Figura 2.3 – Usina Fotovoltaica (fonte: <http://unienergia.net/noticia-detalhes/1575>)**

#### **2.1.4. Energia Eólica**

De acordo com (HINRICHS, 2011), a energia elétrica é produzida a partir da rotação de um rotor composto por lâminas por meio da pressão do vento. Esse rotor, através de sistemas de engrenagens, está ligado a um gerador elétrico para se gerar energia. Ao se falar em sistemas de menor porte, essa energia gerada em corrente contínua pode ser utilizada para carregar baterias ou em aparelhos que funcionem com aquecimento resistivo.

A potência que pode ser extraída, teoricamente, por uma turbina eólica pode ser representada pela seguinte equação:

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot c_p \cdot n \cdot A \cdot V_i^3$$

**Equação (2.2)**

onde  $\rho$  é a massa específica do ar,  $c_p$  é o coeficiente de potência,  $n$  é a eficiência de conversão eletromecânica,  $A$  é a área do rotor e  $V_i^3$  é a velocidade frontal do vento ao cubo. Levando em conta que temos condições ideais, apenas 59,3% da energia proveniente da força do vento pode ser teoricamente transformada em energia elétrica

por uma turbina eólica, por isso nessa equação utilizamos  $c_p = 0,593$  (TOLMASQUIM, 2003).

Como vantagens desse meio de geração de energia, temos que o impacto ambiental é extremamente baixo, suas turbinas são construídas em períodos de tempo curtos, e se levarmos em conta os outros meios de produção de energia, o tamanho das suas unidades é reduzido. Além disso, funciona como uma forma complementar de fornecimento de energia elétrico residencial se utilizado em conjunto com a energia solar, levando em conta que os dias com pouca incidência solar são normalmente os que apresentam ventos acima da normalidade (HINRICHS, 2011). No tocante ao meio ambiente, sua principal característica é a não emissão de gases poluentes em seu processo de geração (DUTRA, 2004).

Os pontos negativos são, segundo (DUTRA, 2004), a emissão do ruído gerado pelo sistema, o impacto sobre a fauna relacionado aos pássaros que colidem nas estruturas de geração de energia, e o impacto visual, problema esse que é bastante relativo, pois enquanto alguns reagem negativamente ao verem parques eólicos como parte da paisagem, outros associam esses parques à energia limpa.



**Figura 2.4 – Parque Eólico (Fonte:**  
**<http://revistagrandestemas.blogspot.com.br/2010/05/energia-eolica-texto-de-raynara-viana.html>)**

## **2.2. Motor de Corrente Contínua**



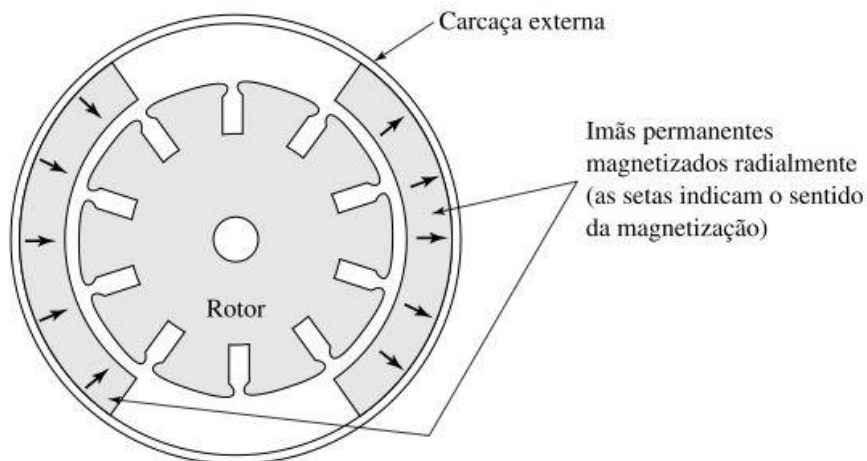
Um motor de corrente contínua é um componente largamente utilizados em diversos dispositivos no nosso dia a dia, podendo ser encontrado em carrinhos de controle remoto, impressoras, na bandeja dos aparelhos de dvds e videogames, dentre outros.

Um motor de corrente contínua nada mais é do que um gerador de corrente contínua, tendo seu fluxo de potência invertido, de modo que ele seja capaz de transformar em energia mecânica a energia elétrica recebida em suas entradas. (TORO, 1999).

Mesmo nas máquinas de corrente contínua (CC), primeiro é realizada a produção de corrente alternada (CA), como nos mostra (FITZGERALD, KINGSLEY e UMANS, 2006):

“Em máquinas de CC, embora o objetivo final seja a geração de CC, tensões CA são produzidas nas bobinas do enrolamento de armadura à medida que essas bobinas giram através da distribuição de fluxo CC do enrolamento de campo estacionário. Portanto, a tensão alternada do enrolamento de armadura deve ser retificada”.

O motor de corrente contínua de ímã permanente é bastante utilizado em aplicações de baixa potência, por ser mais simples de se construir e ser de menor porte. Na Figura 2.5 podemos observar a seção transversal de um motor de ímã permanente. O rotor é composto por um comutador (responsável pela retificação da tensão alternada gerada em tensão contínua), escovas e ranhuras para os enrolamentos, e uma carcaça externa confeccionada com material magnético, que tem como propósito servir como caminho de retorno para o fluxo magnético e servir como suporte para os ímãs, de modo que a força de atração e repulsão do ímã seja utilizada para gerar rotação. (FITZGERALD, KINGSLEY e UMANS, 2006).



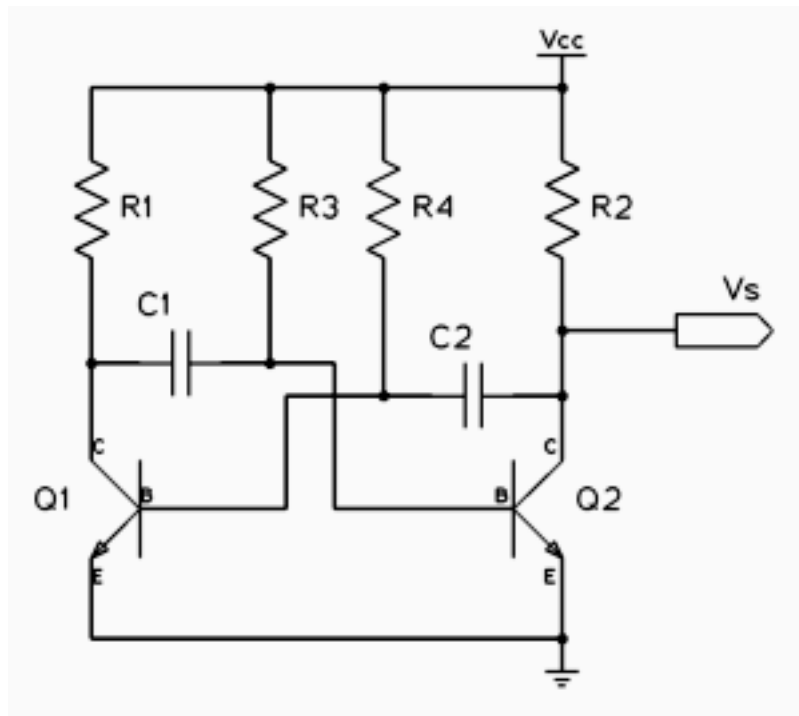
**Figura 2.5 - Seção Transversal de um Motor de Ímã Permanente. (Fonte: Livro Máquinas elétricas)**

### 2.3. Inversor

Inversores podem ser definidos como circuitos que conseguem converter sinal elétrico que está em corrente contínua em um sinal elétrico de corrente alternada com a frequência de saída desejada. Por não conterem partes móveis em seu circuito, são classificados como circuitos estáticos. Embora a forma da tensão periódica de saída não seja exatamente senoidal, ela pode ser considerada como tal (com uma boa aproximação). (AHMED, 2000).

Os inversores de fonte de tensão são os mais usados. O seu funcionamento não depende da corrente exigida pela carga, sendo essencial apenas que a tensão da fonte de entrada em corrente contínua seja constante. Essa tensão de entrada em corrente contínua pode vir de uma bateria (uma fonte independente) ou de um capacitor controlado. (AHMED, 2000).

Os multivibradores astáveis são circuitos capazes de agir como inversores, e são construídos basicamente com resistores, capacitores e transistores, como nos mostra a Figura 2.6. Nela, R1, R2, R3 e R4 são resistores, C1 e C2 são capacitores, e Q1 e Q2 são transistores, sendo a entrada em corrente contínua representada por Vcc e a saída por Vs.



**Figura 2.6 – Multivibrador Astável (Fonte:**  
**[http://flip.flop.nom.br/circuitos/multivibrador\\_astavel](http://flip.flop.nom.br/circuitos/multivibrador_astavel))**

A frequência da tensão de saída de um multivibrador astável pode ser calculada com a seguinte fórmula:

$$f = \frac{1}{0.69 \times (C1 \times R3 + R4 \times C2)}$$

**Equação 2.1**

Nessa equação, 0.69 é o tempo de condução de um transistor em segundos, R3 e R4 são as resistências em ohms, e C1 e C2 são as capacitâncias em Farads (F). (BRAGA, 2014)

Quando se trata de um oscilador quadrado, ou seja, quando os valores de R3 e R2 são iguais e os capacitores C1 e C2 possuem o mesmo valor, também pode se encontrar a frequência com a seguinte fórmula (BRAGA, 2014):

$$f = \frac{1}{1.38 \times (R \times C)}$$

**Equação 2.2**

## 2.4. Transformador

Um transformador é um dispositivo formado por dois ou mais enrolamentos unidos por meio de um fluxo magnético comum a eles. Por ser mais eficiente, a maioria dos transformadores utilizam núcleos de materiais ferromagnéticos entre os enrolamentos. Atualmente os transformadores são utilizados com a finalidade de elevar ou diminuir uma tensão para adequar esse valor aos mais diversos dispositivos.

Por convenção o enrolamento responsável pela entrada do fluxo de energia é chamado de enrolamento primário, sendo o enrolamento secundário o responsável pela saída do fluxo. Quando ligamos uma fonte de tensão alternada a um enrolamento primário, o fluxo resultante no enrolamento secundário dependerá não só da tensão aplicada no enrolamento primário, mas também da frequência dessa tensão aplicada, e do número de espiras dos enrolamentos. (FITZGERALD, KINGSLEY e UMANS, 2006).

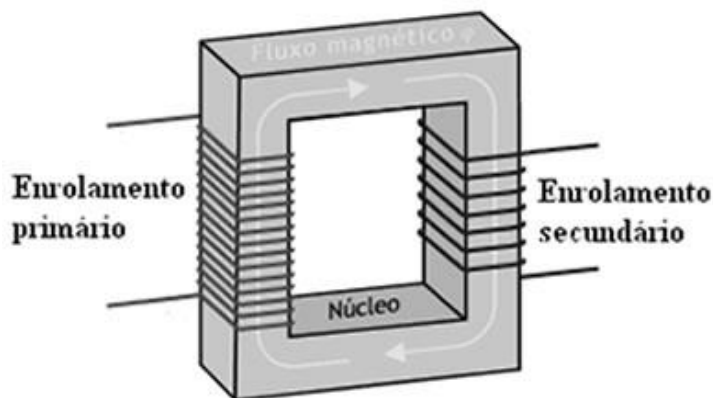
Podemos encontrar a tensão resultante de um transformador com a seguinte equação:

$$\frac{v^1}{v^2} = \frac{N^1}{N^2}$$

### Equação 2.2

Onde temos que  $v^1$  é a tensão aplicada no enrolamento primário,  $v^2$  é a tensão encontrada no enrolamento secundário,  $N^1$  é o número de espiras do enrolamento primário e  $N^2$  seria o número de espiras do enrolamento secundário.

Um transformador pode ser considerado abaixador de tensão, caso o número de espiras do primeiro enrolamento seja maior que o número de espiras do segundo enrolamento, ou elevador de tensão, caso o número de espiras do primeiro enrolamento seja menor que o número de espiras do segundo.

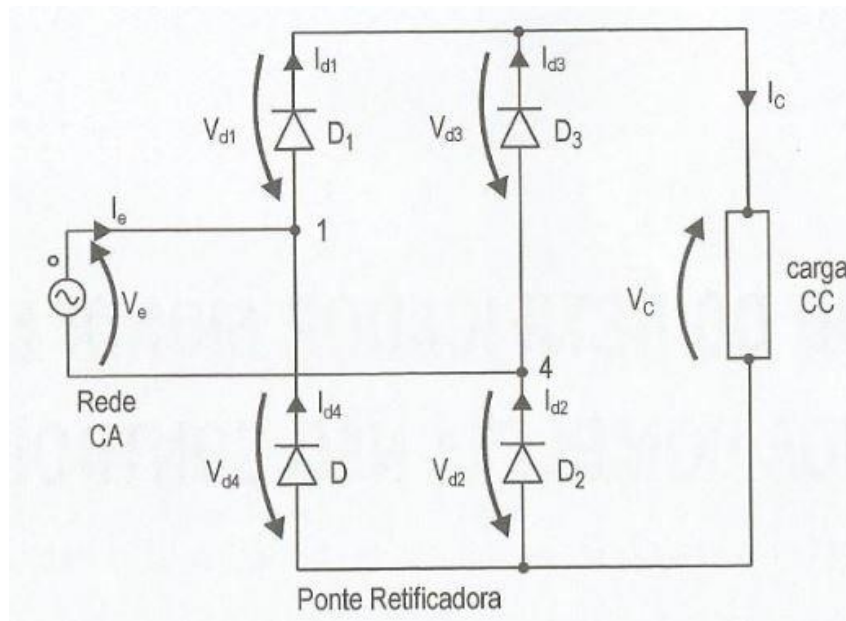


**Figura 2.7 – Transformador (fonte: <http://eletro90.blogspot.com.br/2013/06/como-funciona-o-tranformador-de.html>)**

## **2.5. Retificador**

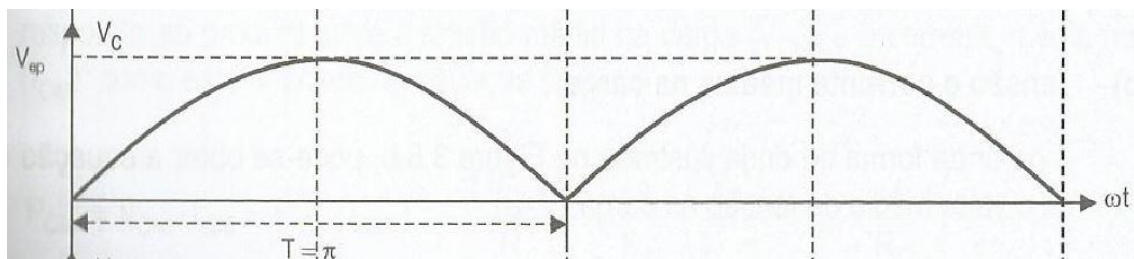
Um retificador, ou conversor CA-CC (corrente alternada para corrente contínua), é um circuito responsável por transformar um sinal de tensão elétrica alternado em um sinal de tensão elétrica contínua (ARRABAÇA e GIMENEZ, 2014). Esses retificadores estão presentes em diversos aparelhos do nosso dia a dia, como televisores, geladeiras, microcomputadores, e em outros diversos equipamentos eletrônicos.

Um retificador de onda completa é um dos diversos tipos de retificadores que existem, e pode ser construído com a utilização de quatro diodos, que são componentes que só permitem a passagem de corrente em uma direção. A Figura 2.8 ilustra o seu funcionamento. Nesse tipo de retificador, a corrente alternada recebida em sua entrada é transformada em corrente contínua pulsante, podendo ser usado um capacitor eletrolítico na montagem do retificador para estabilizar essa corrente gerada próximo ao valor de pico das ondas resultantes da corrente contínua.



**Figura 2.8 – Retificador de Onda Completa (Fonte: Eletrônica de Potência – Conversores de Energia CA/CC – Teoria, Prática e Simulação)**

A figura 2.9 representa o gráfico da tensão no circuito retificador de onda completa:



**Figura 2.9 – Forma de Onda da Tensão no Retificador (Fonte: Eletrônica de Potência – Conversores de Energia CA/CC – Teoria, Prática e Simulação)**

Finalizando, (MALVINO e BATES, 2007) e (ARRABAÇA e GIMENEZ, 2014) nos apresentam as seguintes propriedades de um ponte retificadora construída com 4 diodos:

$$V_{p(out)} = V_{p(in)} - 1,4V$$

**Equação 2.3**

$$\begin{aligned}
Tensão\ Média\ CC &= \frac{1}{\pi} * \int_0^{\pi} V_{p(out)} * \text{sen}(\theta) * d\theta = \frac{1}{\pi} * \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} V_{p(out)} * \cos(\theta) * d\theta \\
&= \left[ \frac{V_{p(out)}}{\pi} * (-\cos\theta) \right]_0^{\pi} = \left[ \frac{V_{p(out)}}{\pi} * \text{sen}(\theta) \right]_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \\
&= \frac{V_{p(out)}}{\pi} * [\cos(0) - \cos(\pi)] = \frac{V_{p(out)}}{\pi} * \left[ \text{sen}\left(\frac{\pi}{2}\right) - \text{sen}\left(-\frac{\pi}{2}\right) \right] \\
&= \frac{2 * V_{p(out)}}{\pi}
\end{aligned}$$

#### **Equação 2.4**

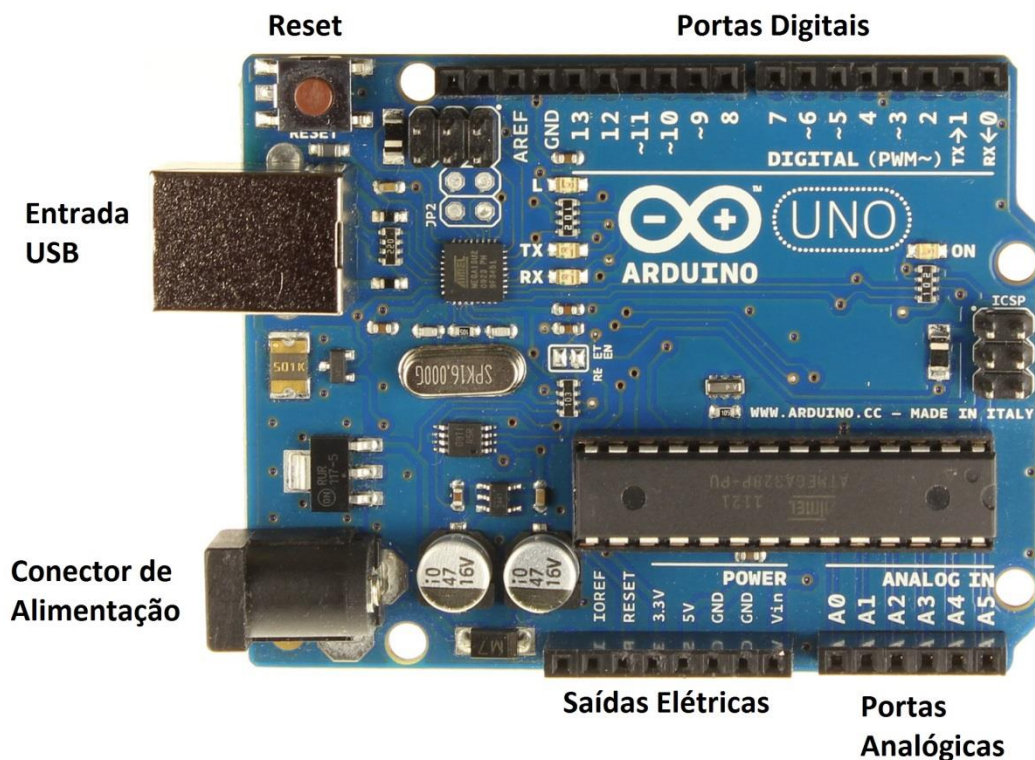
$$Frequência\ de\ saída = 2 * f_{in}$$

#### **Equação 2.5**

Nas equações 2.4, 2.4, e 2.5,  $V_{p(out)}$  e  $V_{p(in)}$  representam a tensão de pico de saída e de entrada respectivamente,  $f_{in}$  representa a frequência de entrada no retificador, e  $\pi$  é usado como 3,14.

### **2.6. Arduino**

De acordo com (MCROBERTS, 2011), o Arduino é um pequeno computador de placa única, um sistema que pode interagir com o ambiente, e que é capaz de processar as informações de entrada e saída entre ele e os componentes ligados a ele por meio de programação. O Arduino é um microcontrolador que possui hardware e software de fonte aberta, podendo ser utilizado com qualquer propósito e por qualquer pessoa.



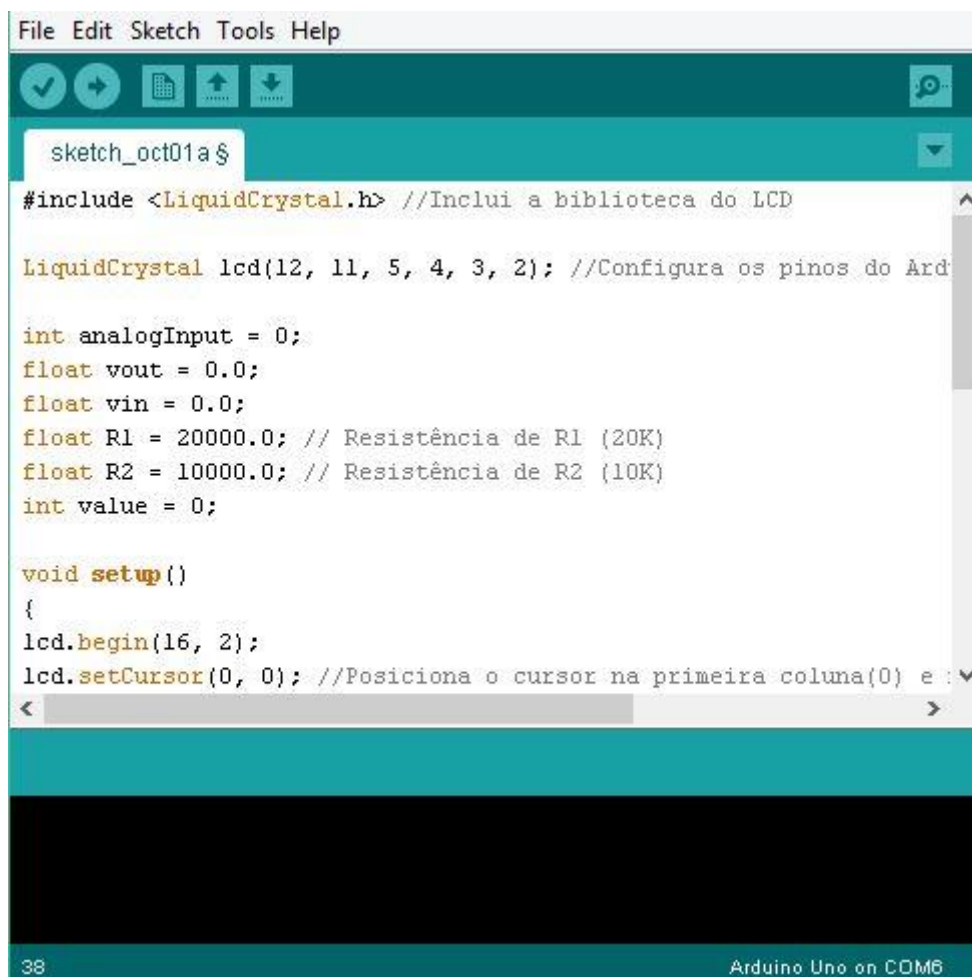
**Figura 2.10 – Arduino Uno (Fonte: <http://labdegaragem.com/profiles/blogs/tutorial-como-acender-leds-pelo-serial-monitor-com-arduino> adaptado)**

A Figura 2.10 representa o Arduino Uno e os componentes presentes em sua placa. A entrada USB permite a comunicação com um computador, sendo utilizada para passar os códigos escritos para o micro controlador. O conector de alimentação é uma entrada para fontes externas de energia, utilizadas para alimentar o Arduino. Com o botão reset (ou através do conector reset da placa) é possível fazer com que o código comece a ser executado novamente. A placa do micro controlador possui 14 pinos digitais, e 6 pinos analógicos, que podem ser ligados a diversos componentes servindo como entrada para que o micro controlador faça a leitura dos sinais. Além disso, o Arduino possui pinos de saídas elétricas de diferentes tensões para fazer a alimentação dos circuitos ligados a ele caso necessitem.

Para escrever os códigos que serão utilizados pelo microcontrolador Arduino, é necessário o IDE do Arduino (Integrated Development Environment, ou Ambiente de Desenvolvimento Integrado), que é o software que permite a construção de instruções



na linguagem compreendida por ele. Os programas desenvolvidos para a plataforma Arduino são denominados sketches.



**Figura 2.11 – IDE Arduino (Fonte: Autor)**

O Arduino é um microcontrolador com uma utilidade bastante ampla, podendo ser usado tanto em projetos interativos independentes, quanto conectado a um computador ou rede, para receber ou enviar dados processados por ele. Existe uma infinidade de sensores compatíveis com o Arduino, como os sensores que fazem a leitura da luminosidade no local, da temperatura, da pressão, detectam movimento, medem a distância, dentre outros, que fazem com que esse micro controlador possa ser utilizado na construção dos mais diversos projetos.

## **2.7. Bateria Recarregável**

Uma célula eletroquímica pode ser definida como um dispositivo que, a partir de reações oxidação e redução (perda e ganho de elétrons por elemento químico), é capaz de produzir energia química em elétrica ou vice versa. Assim, dentre os tipos de células eletroquímicas, as células galvânicas são as que transformam energia química em energia elétrica. (RUSSEL, 1994).

As células galvânicas possuem diversas utilidades comerciais, como por exemplo, as pilhas e baterias que utilizamos em diversos aparelhos eletrônicos. Atualmente o termo bateria significa uma célula galvânica capaz de gerar tensão, ou mais de uma célula ligada em série, para produzir uma tensão múltipla da tensão produzida por uma célula. (RUSSEL, 1994).

As células galvânicas sofrem ainda outra classificação, sendo chamada de primárias quando não podem ser carregadas, ou secundárias, quando podem ser carregadas. O processo de carga ocorre quando um carregador aplica à célula um tensão externa oposta, que inverte os processos da célula e regenera as substâncias usadas durante a descarga. (RUSSEL, 1994).



**Figura 2.12 – Bateria Recarregável (Fonte: Autor)**

## **2.8. Sistemas de Controle**

Os sistemas de controle estão presentes nas mais diversas áreas, sendo bastante vantajosa a sua utilização. Graças aos sistemas de controle é possível ter precisão ao

mover equipamentos pesados, mover grandes antenas para melhorar a captação dos sinais, e controlar motores com um alto grau de precisão, o que não seria possível de ser feito manualmente. Além das vantagens citadas, os sistemas de controle têm grande utilidade na compensação de perturbações, e também são usados para controlar variáveis, como a temperatura de sistemas térmicos, tensão, corrente, ou frequência de sistemas elétricos, velocidade e posição de sistemas mecânicos. (NISE, 2012).

É interessante mencionar que na natureza também existem sistemas controlados automaticamente: quando utilizamos a nossa coordenação motora fina para escrever utilizando a força adequada e sem ultrapassar espaços determinados, quando os músculos esqueléticos tremem para produzir calor ou quando suamos para arrefecer o corpo com o propósito de regular a temperatura.

Sistemas de controle são compostos por processos e subsistemas que tem como finalidade obter uma saída desejada de acordo com uma entrada específica. Temos como exemplo a seguinte situação: uma pessoa deseja utilizar um elevador para subir do térreo de um edifício até o seu terceiro andar, e para isso, ela aperta o botão correspondente a esse andar. Como resultado, o elevador irá subir em uma velocidade adequada até o andar correto. (NISE, 2012). Nesse exemplo, o sistema foi controlado de maneira automática para garantir os requisitos de qualidade previamente estabelecidos para essa ação.

De acordo com (OGATA, 2005), as variáveis de um sistema de controle podem ser classificadas como controladas ou manipuladas. As variáveis controladas, ou simplesmente a saída do sistema, é a condição ou grandeza que é medida e controlada. Já a variável manipulada é a condição ou grandeza que é modificada pelo controlador, de modo que afete o valor da variável controlada. O ato de controlar significa utilizar a variável manipulada do sistema para corrigir (ou limitar) os desvios do valor medido da variável controlada a partir de um valor desejado.

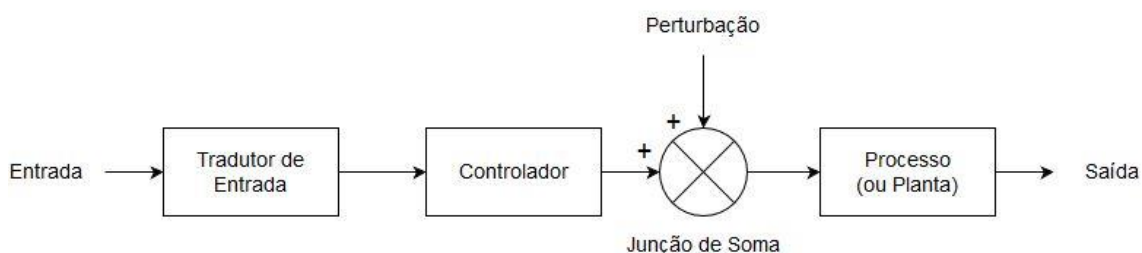
### **2.8.1. Sistemas em Malha Aberta**

Um sistema em malha aberta, no geral, consiste em um sistema que recebe um sinal de entrada e a transforma uma saída, sem a possibilidade de compensação de qualquer perturbação adicionada ao sinal de entrada do sistema. Um sistema em malha

aberta é formado por Tradutor de Entrada, um Controlador e um Processo. O Tradutor de Entrada converte os sinal de entrada para uma forma que o Controlador seja capaz de atuar sobre esse sinal, acionando o Processo (também chamado de Planta). Alguns outros sinais, como perturbações, podem ser adicionados tanto antes de o sinal chegar ao Processo quanto na saída dele, porém os sistemas de malha aberta não podem realizar correções para essas perturbações, sendo comandados simplesmente pelo sinal de entrada. (NISE, 2012).

Podemos citar como exemplo de sistemas de malha aberta, os sistemas de semáforos controladores de tráfego, onde seu funcionamento está baseado apenas no tempo em que cada sinal deve ficar aceso, não levando em conta fatores externos para o seu funcionamento.

A Figura 2.13 nos mostra de maneira simplificada, como pode ser representado um sistema de controle em malha aberta.



**Figura 2.13 – Controle de Malha Aberta (Fonte: Autor)**

### 2.8.2. Sistemas em Malha Fechada

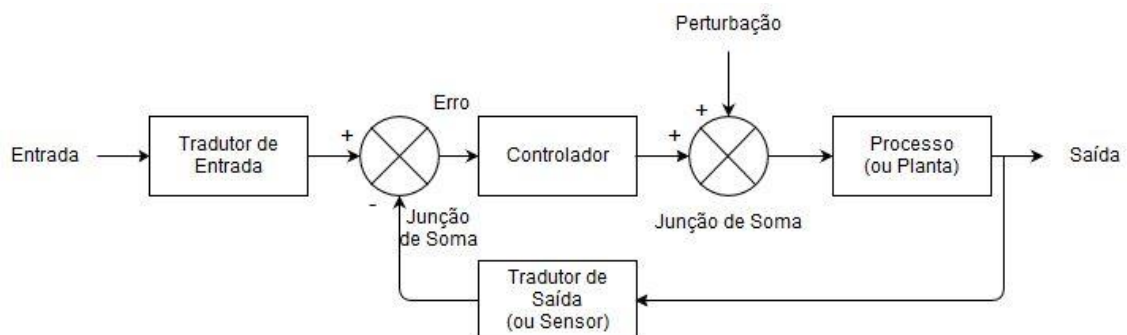
A diferença entre um sistema de malha aberta e um sistema de malha fechada, é que no sistema de malha fechada existe a possibilidade de se corrigir as perturbações que ocorrem no sistema. Além dos elementos presentes no sistema de malha aberta, o sistema de malha fechada possui um Tradutor de Saída – ou Sensor – que irá medir a resposta de saída do sistema e converter para a forma utilizada pelo transformador. Assim, o sinal transformado pelo Tradutor de Saída retorna ao início do processo através de uma malha de realimentação e é somado ao sinal resultante do Tradutor de

entrada, possibilitando assim que o sistema atue na correção de perturbações. O resultado dessa soma de sinais é chamado de sinal de atuação. (NISE, 2012).

Nos sistemas em que os tradutores de entrada e de saída amplificam suas entradas por um fator igual a 1 (possuem ganho unitário), o valor do sinal de atuação é resultado da diferença real entre o sinal de entrada e o de saída, sendo chamado nessas condições de sinal de erro. Se houver qualquer diferença entre o sinal resultante do Tradutor de Entrada e o resultado da soma entre esse sinal e o sinal do Tradutor de Saída, o sistema utiliza o sinal de atuação para acionar a Planta e realizar uma correção, caso contrário, a Planta não será acionada, pois a resposta da Planta já é a resposta adequada. (NISE, 2012).

Como um exemplo fictício de sistemas em malha fechada, temos os sistemas de ar condicionado mais modernos dos automóveis. O motorista aciona o sistema determinando uma temperatura alvo, e essa temperatura selecionada é frequentemente comparada com a temperatura real do interior do veículo. Se a temperatura interna estiver acima da determinada pelo motorista, o sistema de refrigeração será acionado para abaixar essa temperatura, se estiver de acordo com a temperatura desejada, o sistema irá trabalhar apenas para manter esse valor.

Uma possível maneira de representação de sistemas de malha fechada é apresentada na Figura 2.14.

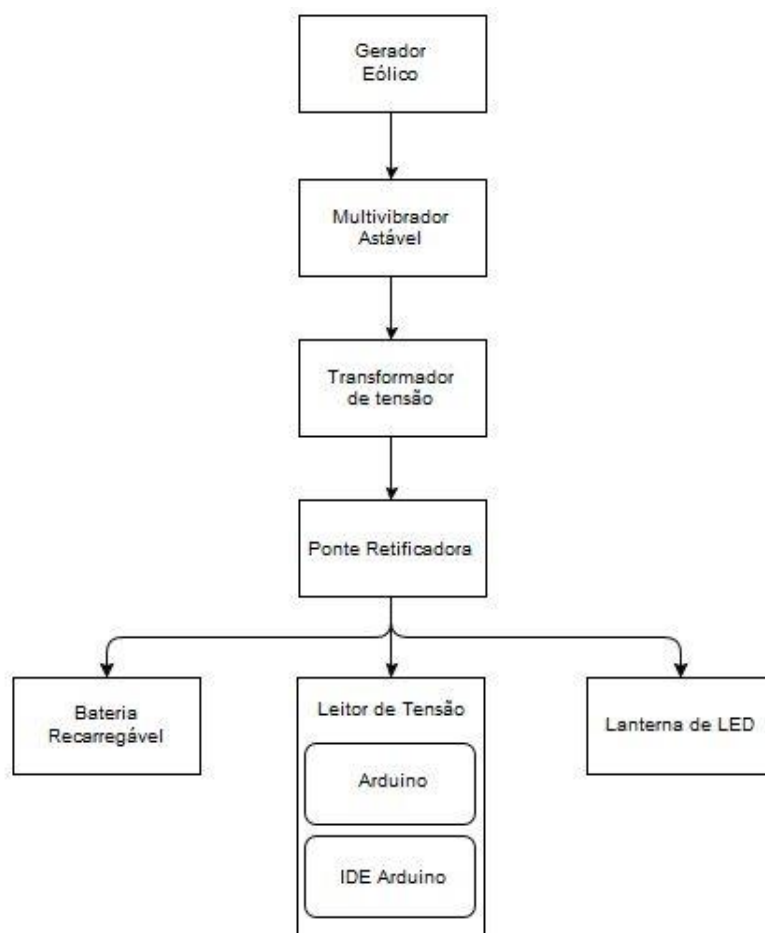


**Figura 2.14 – Controle de Malha Fechada (Fonte: Autor)**

## CAPÍTULO 3. DESENVOLVIMENTO

### 3.1. Introdução

O diagrama em blocos apresentado na figura 3.1 ilustra as funcionalidades do projeto. O primeiro bloco é composto por uma hélice, que, acoplada a um motor de corrente contínua, gera energia elétrica. O segundo, terceiro e quarto blocos são responsáveis por aumentar a energia gerada, através de um astável, que transforma a energia em corrente contínua gerada em corrente alternada, um transformador de tensão que eleva o valor da tensão da energia, e uma ponte retificadora, que tem como função transformar a tensão elevada pelo transformador em corrente contínua novamente. O quinto bloco representa o sistema de leitura da tensão gerada, composto por um divisor resistivo e um micro controlador Arduino Uno. No sexto bloco a energia gerada acende uma lanterna de LED. Para finalizar, o sétimo bloco representa uma bateria recarregável, que armazena a energia elétrica não utilizada pela lanterna.

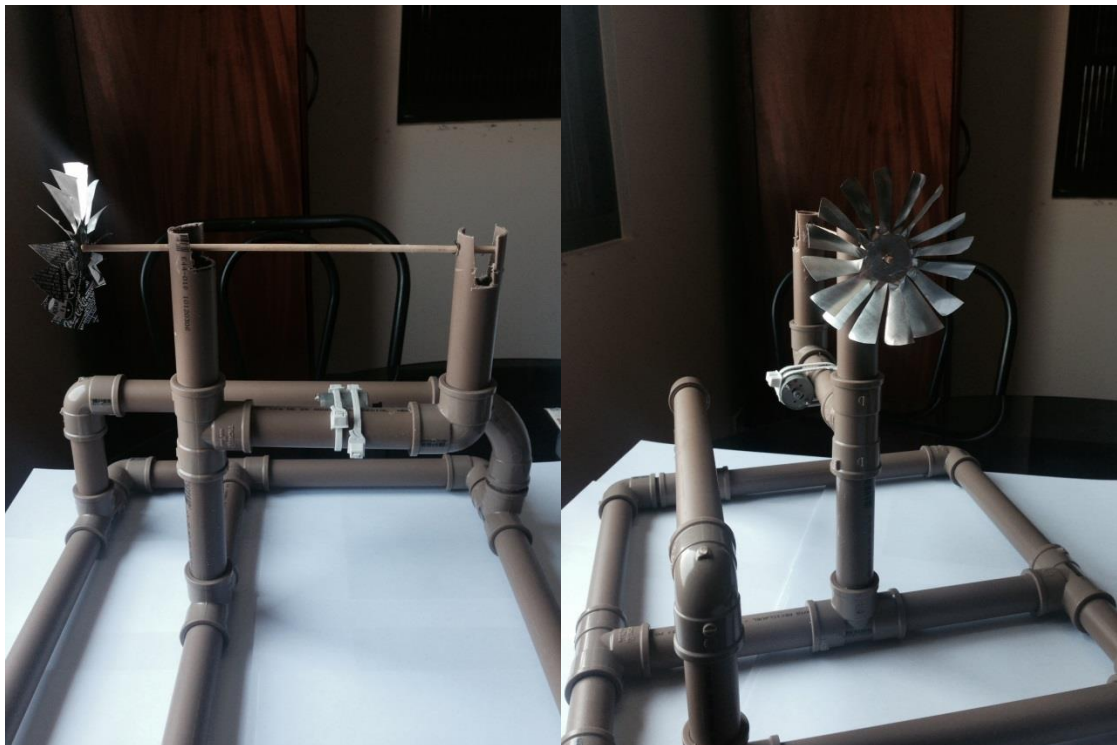


**Figura 3.1 – Diagrama de blocos do projeto (fonte: autor)**

## 3.2. Descrição dos Blocos

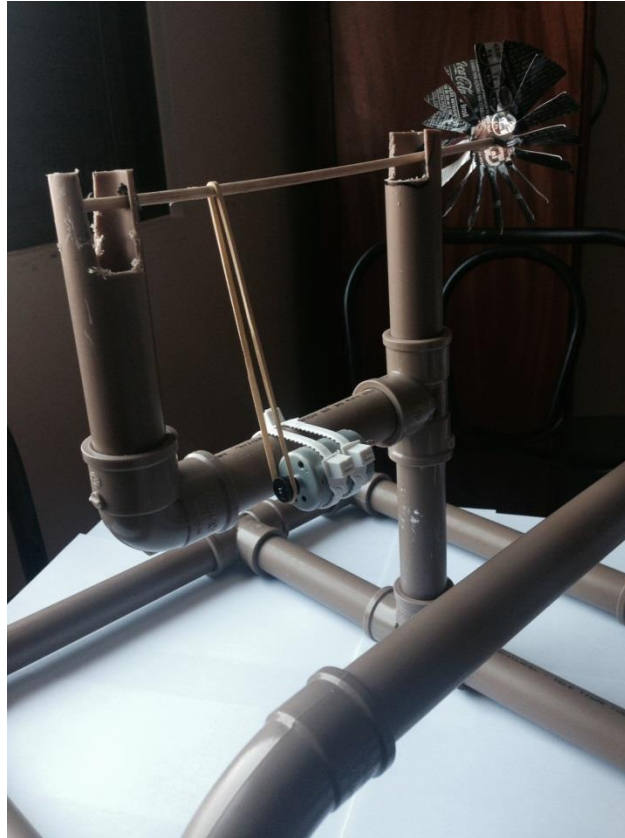
### 3.2.1. Gerador Eólico

O gerador eólico representa o bloco que transforma a força dos ventos em energia elétrica. Uma hélice construída com uma folha de alumínio com 9 centímetros de diâmetro e com 16 pás (simulando a hélice de uma moinho de vento antigo) acoplado a uma haste de madeira, são suportados por uma estrutura de cano PVC, que permite a sua rotação com o mínimo de atrito, conforme a Figura 3.2. A estrutura do protótipo possui as dimensões de aproximadamente 36 centímetros de largura, 36,5 centímetros de comprimento e 31,5 centímetros de altura.



**Figura 3.2 – Estrutura de Geração de Energia (Fonte: Autor)**

Na haste de madeira, um elástico de látex transfere a rotação da estrutura para o motor de corrente contínua de 12 Volts, gerando assim energia elétrica.



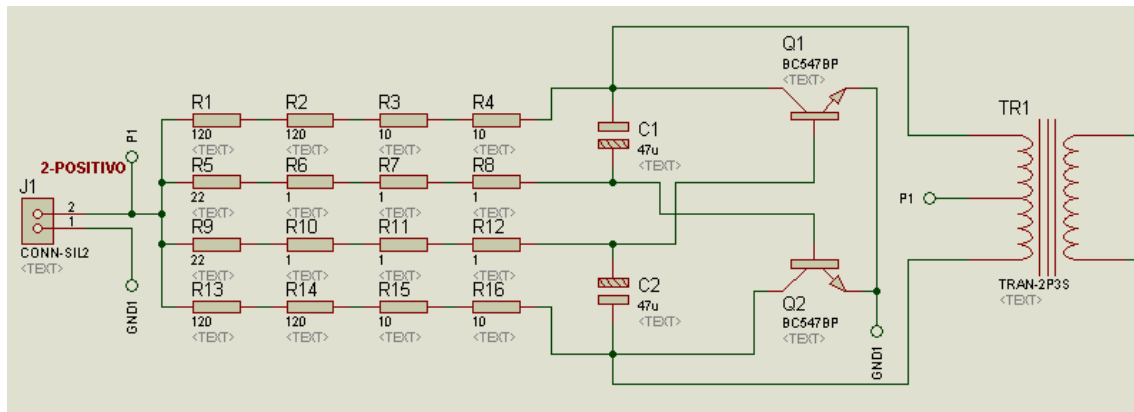
**Figura 3.3 – Estrutura de Geração de Energia com Elástico (Fonte: Autor)**

O motor gerador fornece energia elétrica em corrente contínua, podendo gerar uma tensão máxima de 12 Volts a 3000 rotações por minuto. Como visto no item 2.2 do Capítulo 2, a energia elétrica é gerada por meio da rotação das bobinas de fios presentes no interior do motor em conjunto com um ímã permanente, fazendo com que se produza eletricidade por indução magnética.

### **3.2.2. Multivibrador Astável**

O multivibrador astável tem a função de oscilar o sinal de entrada em corrente contínua transformando-o em corrente alternada. A Figura 3.4 ilustra como foram montados seus componentes, que basicamente são compostos por dois capacitores eletrolíticos, dois transistores e quatro resistências:





**Figura 3.4 – Montagem do Astável no Proteus (Fonte: Autor)**

O astável funciona da seguinte maneira: supondo que o capacitor C1 fosse carregar primeiro, a tensão entra pelos resistores da fileira de R5 e carrega C1. Depois de carregado, C1 irá descarregar a energia armazenada na base do transistor Q2, fazendo com que Q2 seja polarizado no sentido de conduzir. Assim, Q2 tem um de seus terminais aterrados, permitindo a passagem de tensão pelos resistores da fileira de R13. Com Q2 polarizado (ou saturado), agora a corrente irá passar pelos resistores da fileira de R9 carregando o capacitor C2, repetindo exatamente os passos anteriores com o transistor Q1, para permitir a passagem de tensão pelos resistores da fileira de R1.

Sabendo que a frequência utilizada na rede elétrica no Brasil é de 60Hz, e que o transformador foi fabricado para atuar com equipamentos na rede elétrica brasileira, foram utilizados componentes que fizessem com que o astável gerasse energia em corrente alternada nessa frequência. Assim, os capacitores utilizados são de 47 µF e as resistências dos resistores das fileiras de R5 e R9 são de 256Ω. Como nesse caso o astável funciona como um oscilador quadrado (ou seja, os resistores têm resistências iguais e os capacitores são de igual valor), e utilizando os princípios vistos no item 2.3 do capítulo anterior, a equação 2.1 nos mostra a frequência gerada:

$$f = \frac{1}{1,38x(RxC)}$$

$$f = \frac{1}{1,38x(256x47x10^{-6})}$$

$$f = \frac{1}{0,01660416}$$

$$f = 60,26 \text{ Hz}$$

### **Equação 2.1**

As resistências utilizadas em R1 e R4 foram de  $26 \Omega$ , aproximadamente 10% do valor da resistência de R3 e R4.

#### **3.2.3. Transformador de Tensão**

Com a tensão contínua transformada em tensão alternada pelo multivibrador astável na frequência ideal de funcionamento do transformador, o transformador será capaz de aumentar essa tensão gerada.

O transformador utilizado foi um abaixador de tensão que transforma tensões de 220 Volts em 9 Volts, com capacidade de 1 A de corrente. É um transformador abaixador de tensão, pois a relação de transformação possui um valor maior que um, ou seja, a razão entre as tensões dos nós primário e secundário resulta em um número maior que um.

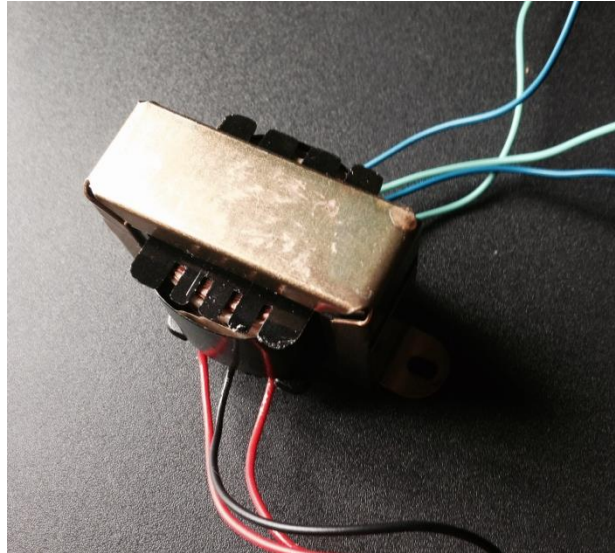
Porém, esse transformador é utilizado de maneira inversa, ou seja, o lado com o enrolamento que contém o menor número de espiras (no caso o da saída de 9 Volts) será utilizado como o enrolamento primário (entrada), aumentando a tensão gerada pelo protótipo. Com essa mudança, teoricamente a relação de transformação passa a ter um valor menor que um. Veja a equação 2.2.

$$\frac{U_1}{U_2} = a$$

$$\frac{220}{9} = a$$

$$a = 24,44$$

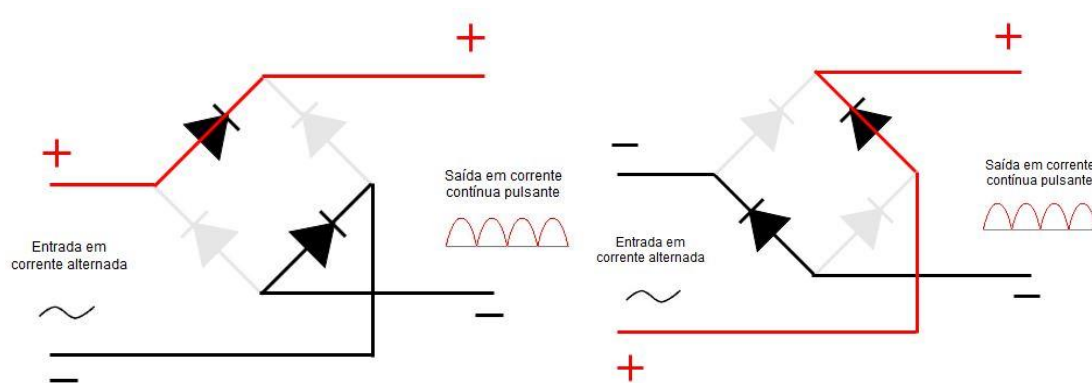
### **Equação 2.2**



**Figura 3.5 – Transformador do Protótipo (Fonte: Autor)**

#### 3.2.4. Ponte Retificadora

A ponte retificadora de onda completa transforma a corrente alternada em corrente contínua pulsante. A Figura 3.6 ilustra seu funcionamento, de modo que, graças à propriedade dos diodos utilizados na construção da ponte de apenas permitir a passagem de corrente em um sentido, o retificador consegue manter a polaridade da saída, apesar da alternância do polo positivo na entrada.



**Figura 3.6 – Funcionamento da Ponte Retificadora (Fonte: Autor)**

Utilizando as equações apresentadas no capítulo anterior, e considerando a tensão de pico igual a 21,7 Volts e a frequência resultante do astável igual a 60,26 Hz, podemos calcular a frequência de saída e a tensão em corrente contínua resultante:

$$\text{Frequência de saída} = 2 * 60,26$$

$$\text{Frequência de saída} = 120,52 \text{ Hz}$$

### Equação 2.3

$$V_{p(out)} = 21,7 - 1,4$$

$$V_{p(out)} = 20,3 \text{ V}$$

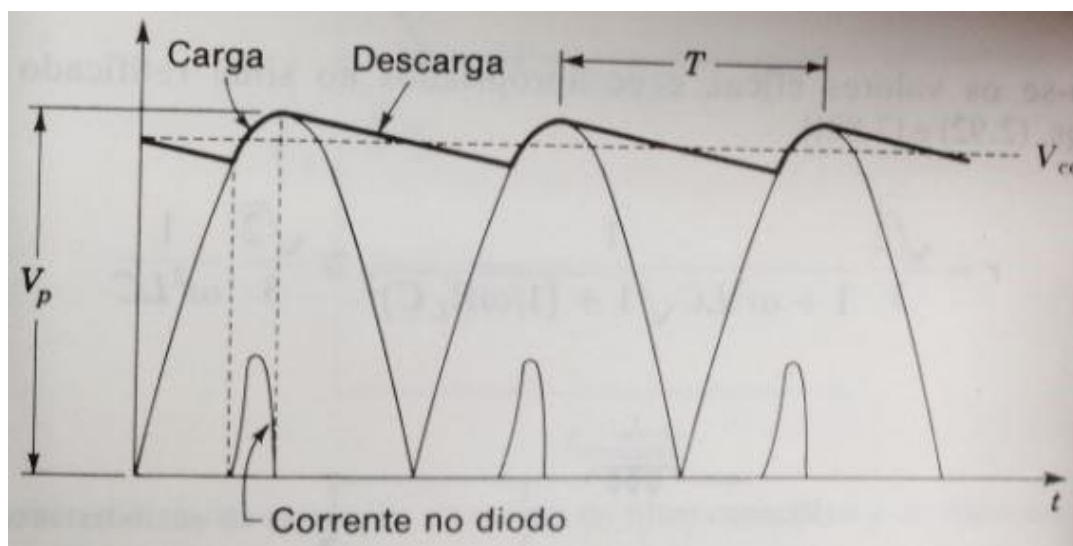
### Equação 2.4

$$\text{Tensão Média CC} = \frac{2 * 20,3}{3,14}$$

$$\text{Tensão Média CC} = 12,93 \text{ V}$$

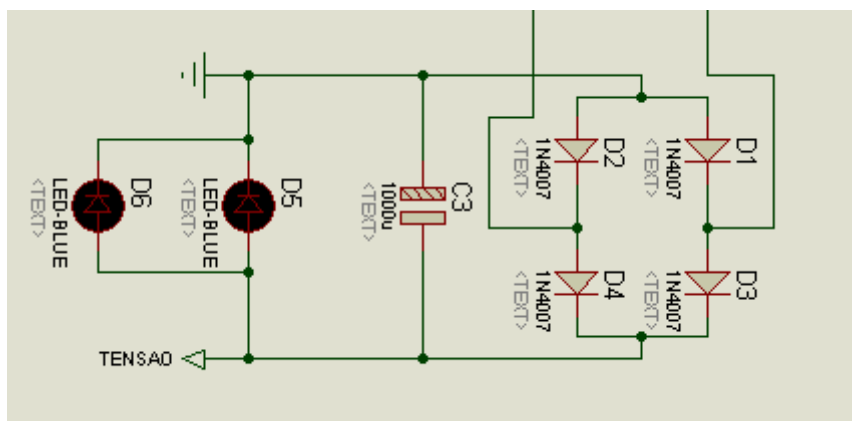
### Equação 2.5

Como a corrente de saída desse dispositivo é em um sinal pulsante, optou-se por adicionar um capacitor na saída desse circuito. A função desse capacitor é aproximar ao máximo o sinal de saída em um sinal estável, fazendo com que a corrente gerada fique constante no valor de pico do sinal pulsante.



**Figura 3.7 – Função do Capacitor na Ponte Retificadora (Fonte: Eletrônica básica, 3ª edição)**

Na construção do retificador foram utilizados 4 diodos 1N4007 e um Capacitor eletrolítico de 1000  $\mu\text{F}$ , montados de acordo com a Figura 3.8.



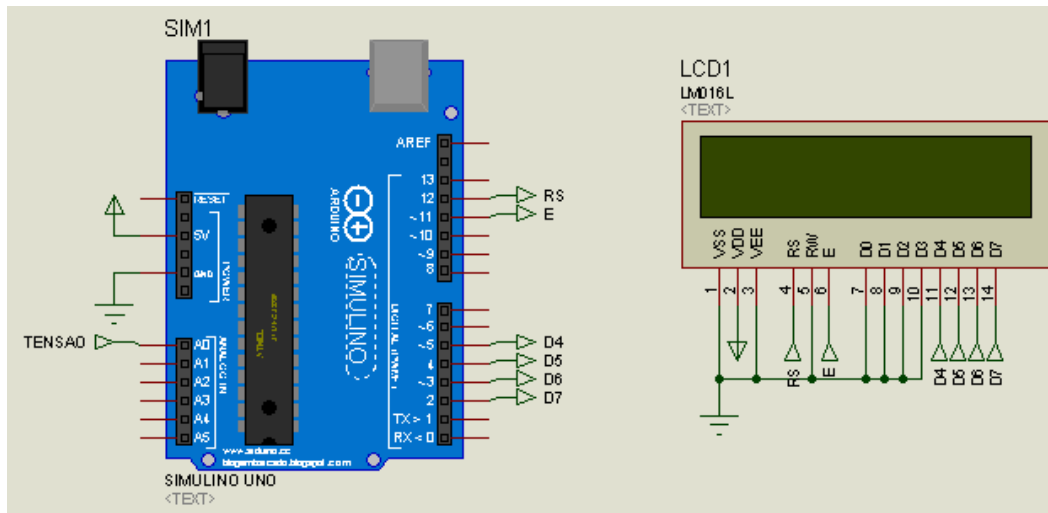
**Figura 3.8 – Ponte Retificadora no Proteus (Fonte: Autor)**

No circuito, os diodos D1, D2, D3 e D4 representam a ponte retificadora, C3 é o capacitor, e os Leds D5 e D6 simbolizam a lanterna e a bateria recarregável. Os diodos que compõem a ponte retificadora suportam uma corrente máxima de 1 ampere, e uma tensão reversa de até 1000 Volts. Já o capacitor possui uma capacitância de 1000  $\mu\text{F}$ , e suporta uma tensão máxima de 25 Volts, que faz com que esse valor seja o limite de tensão suportado pelo retificador. De acordo com (BRAGA, 2014), é recomendado que se utilize 1000  $\mu\text{F}$  de capacitância para cada 1 Ampere de corrente, desde que a tensão de saída esteja entre 3 e 15 Volts.

### 3.2.5. Leitor de Tensão

Para realizar a leitura da tensão elétrica gerada, é montado um dispositivo composto por um micro controlador Arduino Uno, um display LCD 16x2, um divisor resistivo e um diodo zener de 15 Volts.

Na montagem do leitor de tensão, os pinos de 5 Volts e ground (terra) do arduino fazem a alimentação do display LCD, as portas digitais 2,3,4 e 5 transferem os dados do micro controlador para o display, a porta digital 11 é ligada para habilitar a escrita no LCD, e a porta digital 12 é ligada para habilitar o seletor de registrador do display. A porta analógica A0 é usada para fazer a leitura da tensão gerada. As leituras analógicas do Arduino retornam valores entre 0 e 1023, então foi feito um mapeamento para transformar proporcionalmente essa faixa valores para que fique entre 0 e 5 volts, já que 5 volts é o máximo de tensão que o Arduino Uno consegue fazer a leitura.



**Figura 3.9 – Leitor de Tensão no Proteus (Fonte: Autor)**

A tensão gerada pelo protótipo entra no leitor de tensão por um divisor resistivo, que diminui a tensão de entrada de modo proporcional de acordo com a seguinte fórmula:

$$V_{saída} = \frac{R2}{R1 + R2} \cdot V_{entrada}$$

**Equação 2.6**

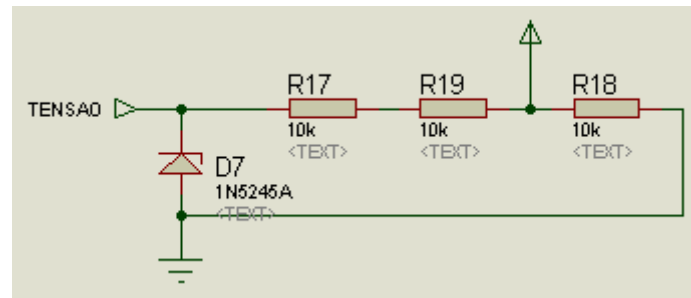
Nessa fórmula,  $V_{saída}$  representa a tensão resultante do divisor resistivo,  $R1$  e  $R2$  são resistências em Ohms, e  $V_{entrada}$  é a tensão que entra no divisor.

Levando em conta que o micro controlador Arduino Uno consegue fazer leituras de tensão de até 5 Volts, foi utilizado uma resistência de  $10k\Omega$  para  $R2$  e uma resistência de  $20k\Omega$  para  $R1$ , elevando essa capacidade de leitura para 15 Volts:

$$V_{saída} = \frac{10k\Omega}{20k\Omega + 10k\Omega} \cdot 15V$$

$$V_{saída} = 5V$$

Na Figura 3.10, o divisor de tensão está retratado pelos resistores  $R17$ ,  $R19$  (que representam a resistência  $R1$  na fórmula) e  $R18$  (que representa a resistência  $R2$  na fórmula).



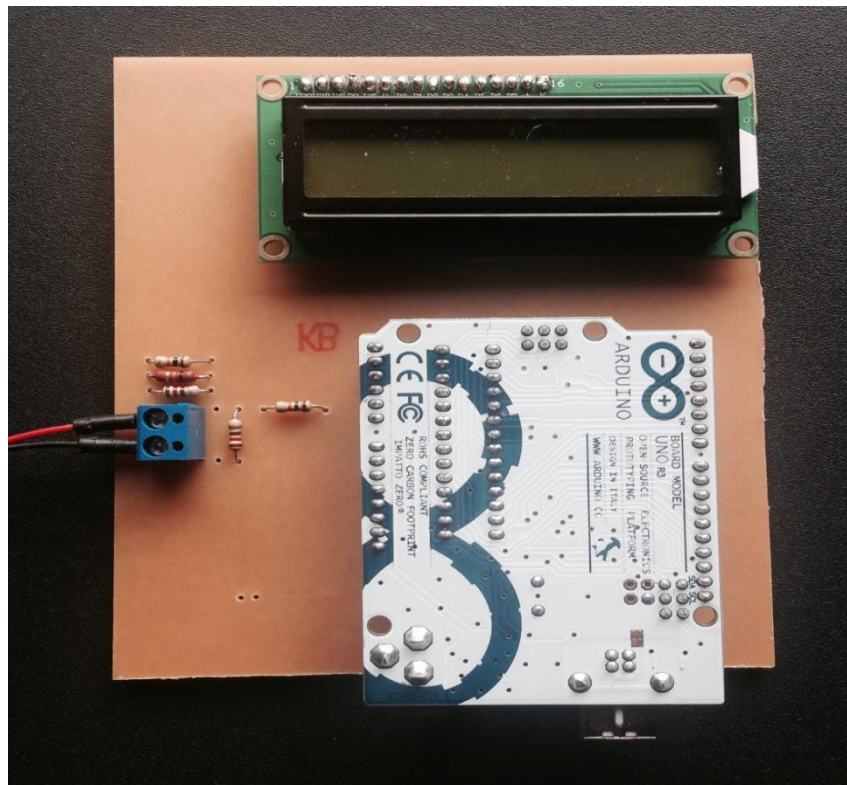
**Figura 3.10 – Divisor Resistivo no Proteus (Fonte: Autor)**

No código gravado no micro controlador, a transformação da leitura que é realizada pela porta analógica e a obtenção do valor real da tensão que entra pelo divisor resistivo estão representados nas seguintes linhas, onde inicialmente foi declarado que R1 é igual a 20000 e R2 igual a 10000 :

```
void loop()
{
  Serial.begin(9600);
  ...
  tensaodesaida = (tensaolida * 5.0) / 1024.0; // Regra de três
  tensaodeentrada = tensaodesaida / (R2/(R1+R2)); // divisor resistivo
  ...
}
```

O diodo zener funcionará como um dispositivo de segurança, limitando a tensão que entra no divisor resistivo em 15 Volts, evitando assim que o microcontrolador seja danificado caso haja um pico com tensões maiores. Esse tipo de diodo dissipa a energia excedente na forma de calor.

Após o divisor resistivo abaixar a tensão, o micro controlador irá fazer a leitura e, por meio do código escrito utilizando o IDE do Arduino e gravado nele, transformar o valor lido que for reduzido em um terço pelo divisor resistivo no valor da tensão real, e apresentar esse valor em um display LCD 16x2.

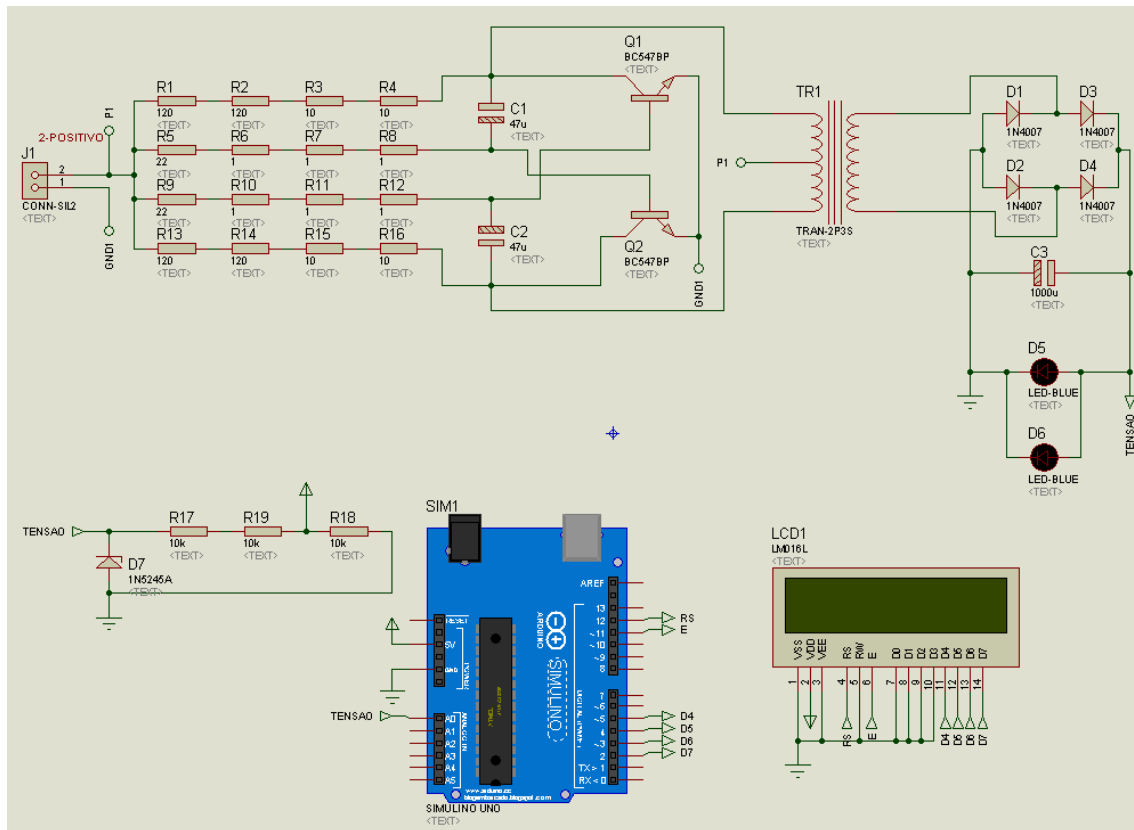


**Figura 3.11 – Leitor de Tensão (Fonte: Autor)**

### **3.3. Construção do Protótipo**

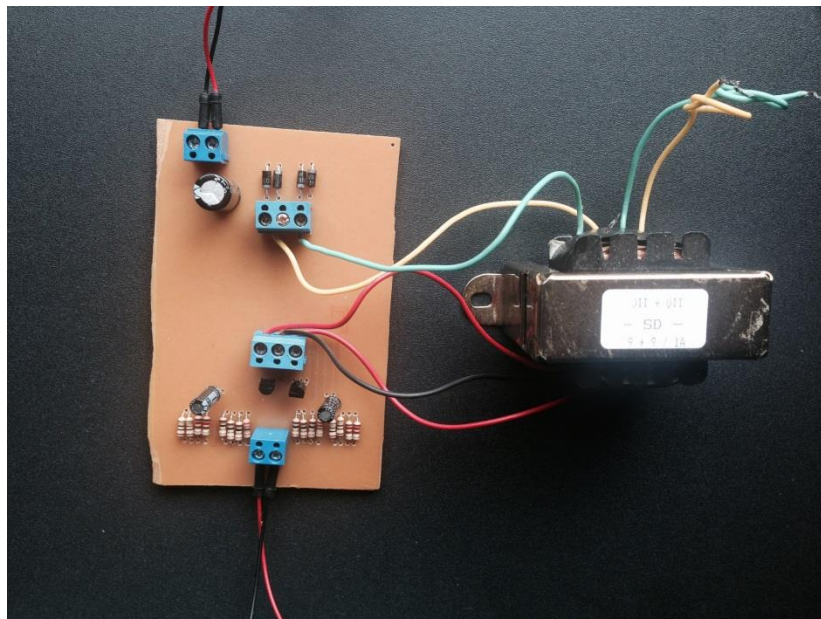
Os blocos do sistema são montados em conjunto, de acordo com a Figura 3.12:





**Figura 3.12 – Circuito Amplificador de Tensão e Leitor de Tensão no Proteus**  
(Fonte: Autor)

O componente J1 representa o gerador eólico. Os componentes apresentados na Figura 3.12 foram soldados em duas placas de circuito impresso, onde na primeira placa se encontram o circuito do multivibrador astável, os conectores para o transformador de tensão, o circuito da ponte retificadora, e o conector para que se coloque a lanterna de emergência ou a bateria. Na segunda placa de circuito impresso, se encontra o circuito do divisor resistivo, o display LCD e os conectores para o Arduino Uno. A Figura 3.13 mostra como ficou a primeira placa:



**Figura 3.13 – Placa com o Astável, o Transformador e o Retificador (Fonte: Autor)**

Nesse protótipo gerador de energia eólico o Arduino atua como o controlador de um sistema em malha aberta, já que em momento algum ocorre uma realimentação de informações que altere o funcionamento do sistema. O sistema somente gera uma saída para cada entrada.

### 3.4. Custos do Protótipo

A Tabela 4.4 mostra o valor gasto na construção do protótipo, e a especificação dos componentes utilizados em sua construção:

**Tabela 3.1 – Componentes Eletrônicos Utilizados (Fonte – Autor)**

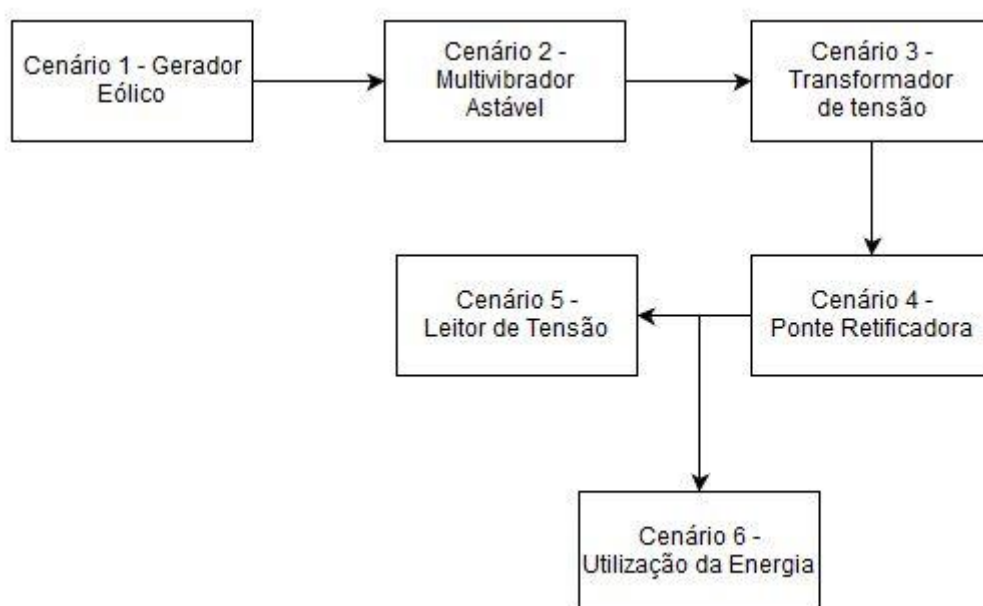
Componente	Valor	Quantidade	Especificação	Valor
Capacitor Eletrolítico	47 $\mu$ F	2	Tensão máxima: 100V	R\$ 0,12
Transistor BC547	-	2	Vceo = 45 V Veob = 6 V	R\$ 0,22

Transformador	220V – 9V	1	Corrente máxima: 1 A	R\$ 19,90
Diodo 1N4007	-	4	Corrente Máx.: 1 A	R\$ 0,16
Capacitor Eletrolítico	1000 $\mu$ F	1	Tensão Máx.: 25 V	R\$ 0,32
Display LCD	16x2	1	-	R\$ 20,00
Diodo Zenner	15V	1	Potência: 1W	R\$ 0,20
Resistor	1 $\Omega$	6	Potência: ¼ W	R\$ 0,24
Resistor	22 $\Omega$	2	Potência: ¼ W	R\$ 0,08
Resistor	120 $\Omega$	4	Potência: ¼ W	R\$ 0,16
Resistor	10 $\Omega$	4	Potência: ¼ W	R\$ 0,16
Resistor	10k $\Omega$	3	Potência: ¼ W	R\$ 0,12
Haste de Madeira	-	1	-	R\$ 0,50
Hélice	-	1	-	R\$ 2,00
Motor CC	12 V	1	3000 RPM	R\$ 10,00
Arduino Uno	-	1	-	R\$ 58,90
Lanterna de LED	-	1	Alimentação de 4,5 Volts	R\$ 25,00
Bateria Recarregável	3,6 V	1	300 mA	R\$ 16,00
Placa Fenolite	-	1	Face simples	R\$ 6,90
Ferro de Solda	-	1	Potência: 50 W	R\$ 29,90
<b>Total Gasto</b>				R\$ 190,88

## CAPÍTULO 4. TESTES E RESULTADOS ALCANÇADOS

### 4.1. Introdução

O diagrama de blocos da Figura 4.1 divide os testes que foram feitos em cenários, para que se possa garantir o seu correto funcionamento em todas as etapas, e facilitar o entendimento dos testes.



**Figura 4.1 – Diagrama de Blocos dos Testes (Fonte – Autor)**

Cada cenário do diagrama representa um teste que será feito para assegurar o funcionamento do bloco, assim, serão feitos 6 testes para comprovar o funcionamento do protótipo.

#### 4.1.1. Cenário 1 - Teste de Funcionamento do Gerador Eólico

O gerador eólico é o bloco que transforma a energia cinética da rotação de uma hélice em energia elétrica com um motor de corrente contínua. Uma grande dificuldade encontrada na escolha da hélice foi a de encontrar um material que fosse resistente para aguentar a força dos ventos e leve para que não interferisse na rotação do gerador. Dessa

forma, foram feitos teste com uma hélice de cooler de computador de plástico com 12 centímetros de diâmetro, uma hélice de cooler de videogame de plástico com 7 centímetros de diâmetro, e uma hélice feita com uma folha de alumínio com 9 centímetros de diâmetro. A hélice de alumínio foi a escolhida, pois apesar de apresentar uma resistência menor que as hélices de plástico, sua resistência é satisfatória para o protótipo em escala reduzida, e se mostrou ser mais leve que as outras testadas.

Para testar o funcionamento no primeiro cenário, um secador de cabelos é utilizado para gerar ventos em diferentes velocidades enquanto um multímetro faz as leituras das tensões geradas pelo motor gerador. Um anemômetro também é utilizado para medir a velocidade dos ventos gerados pelo secador de cabelos, possibilitando a obtenção resultados apresentados na Tabela 4.1. Para realizar esse teste, foram utilizados um multímetro Tozz DT-830B, um anemômetro digital Benetech GM8908 e um secador de cabelos Tany Blue 2000.

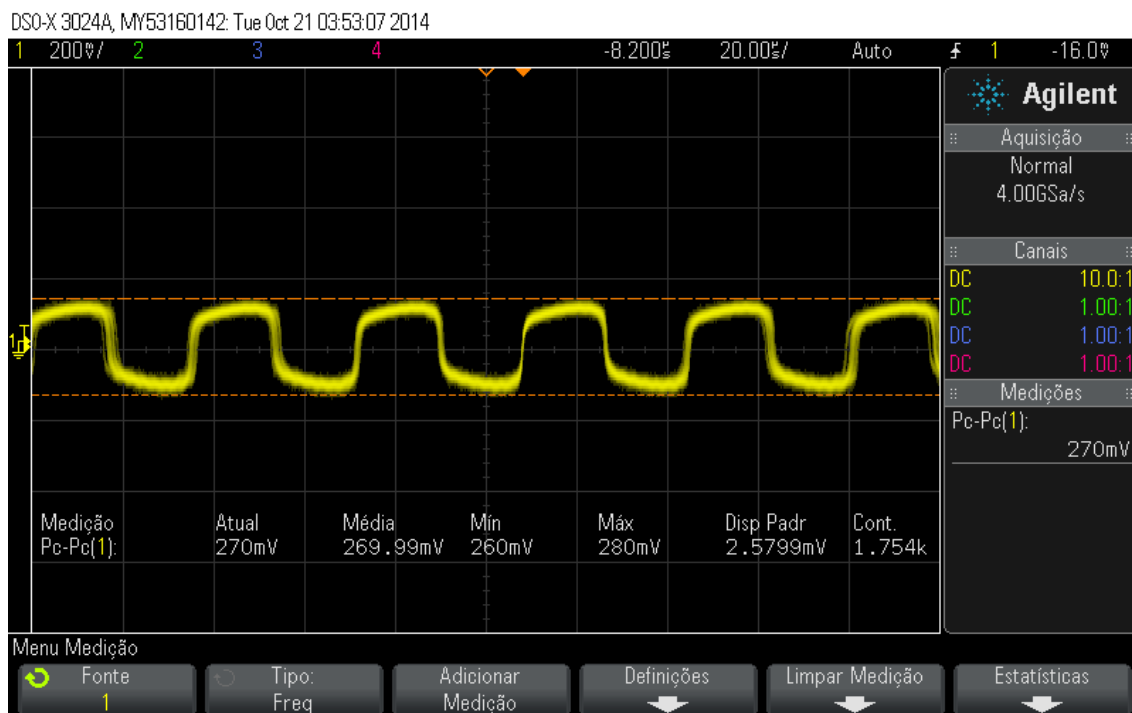
**Tabela 4.1 – Voltagem Gerada pelo Motor (Fonte – Autor)**

<b>Velocidade do vento em m/s</b>	<b>Voltagem gerada em volts</b>
4,5	0,57
5,0	0,58
5,5	0,58
6,0	0,58
6,5	0,59
7,0	0,59
7,5	0,59
8,0	0,60
8,5	0,60

#### **4.1.2. Cenário 2 - Teste de Funcionamento do Astável**

Para realizar o teste desse cenário, é utilizado uma fonte de tensão Minipa MPC – 3006D e um osciloscópio Agilent Technologies DSO-X 3024A.

O multivibrador astável atua como um oscilador transformando o sinal de entrada que se encontra em corrente contínua para corrente alternada. Para assegurar que essa função esteja sendo corretamente exercida, o circuito é testado com um osciloscópio. O resultado do teste foi satisfatório, como nos mostra o Gráfico 4.1.



**Gráfico 4.1 – Gráfico do Funcionamento do Astável (Fonte – Autor)**

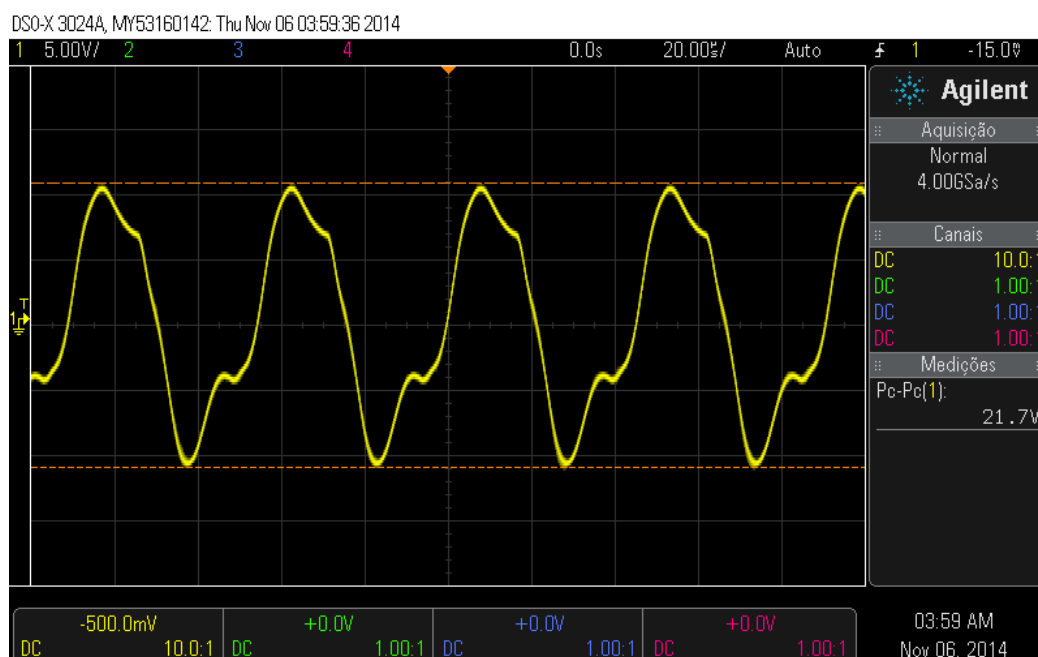
O teste do multivibrador astável é realizado em laboratório, com uma fonte de tensão gerando 0,6 Volts. Como visto no Gráfico 4.1, o circuito é capaz de transformar a tensão contínua que teve como entrada em tensão alternada, gerando uma tensão de pico a pico de 270 mV.

#### 4.1.3. Cenário 3 - Teste de Funcionamento do Transformador

O teste do transformador de tensão é realizado nas mesmas condições do teste do multivibrador astável, ou seja, em um laboratório e com uma fonte de tensão gerando

energia. A tensão de pico a pico de saída do astável serviu como entrada para o transformador, assim, a tensão de saída do transformador é capaz de comprovar o seu funcionamento. Os aparelhos utilizados nesse teste são: uma fonte de tensão Minipa MPC – 3006D e um osciloscópio Agilent Technologies DSO-X 3024A.

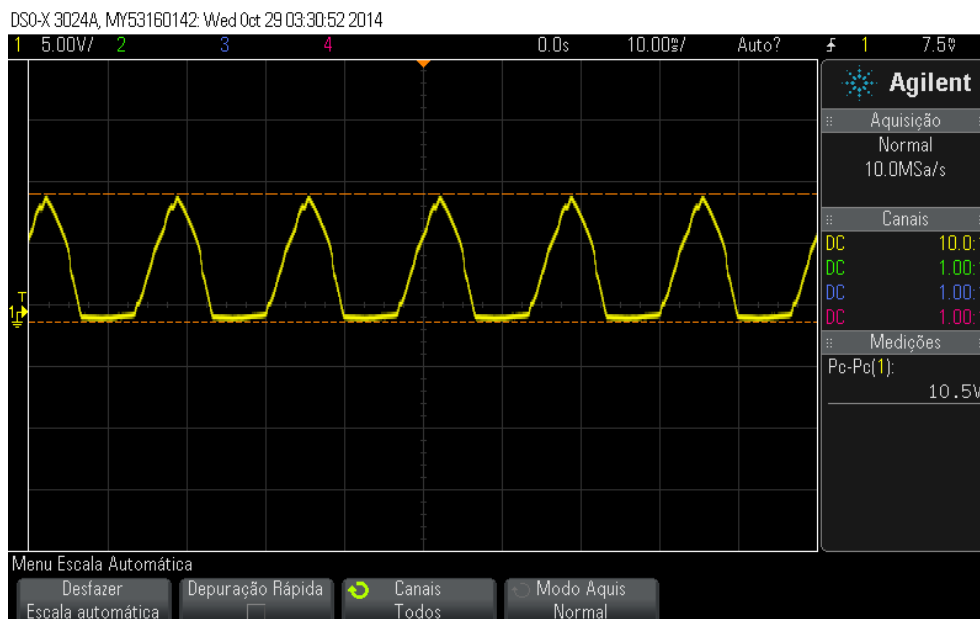
Com um transformador de 9+9 Volts e 1 Ampere de corrente máxima usando como tensão de entrada a tensão que foi oscilada pelo multivibrador astável, um osciloscópio foi utilizado para medir o quanto a tensão de pico a pico foi elevada. O Gráfico 4.3 nos mostra a medição.



**Gráfico 4.2 – Gráfico da Tensão de Pico a Pico no Osciloscópio (Fonte – Autor)**

#### **4.1.4. Cenário 4 - Teste de Funcionamento da Ponte Retificadora**

Também é utilizado um osciloscópio Agilent Technologies DSO-X 3024A e uma fonte de tensão Minipa MPC – 3006D para verificar o funcionamento da ponte retificadora, como verificado Gráfico 4.4.

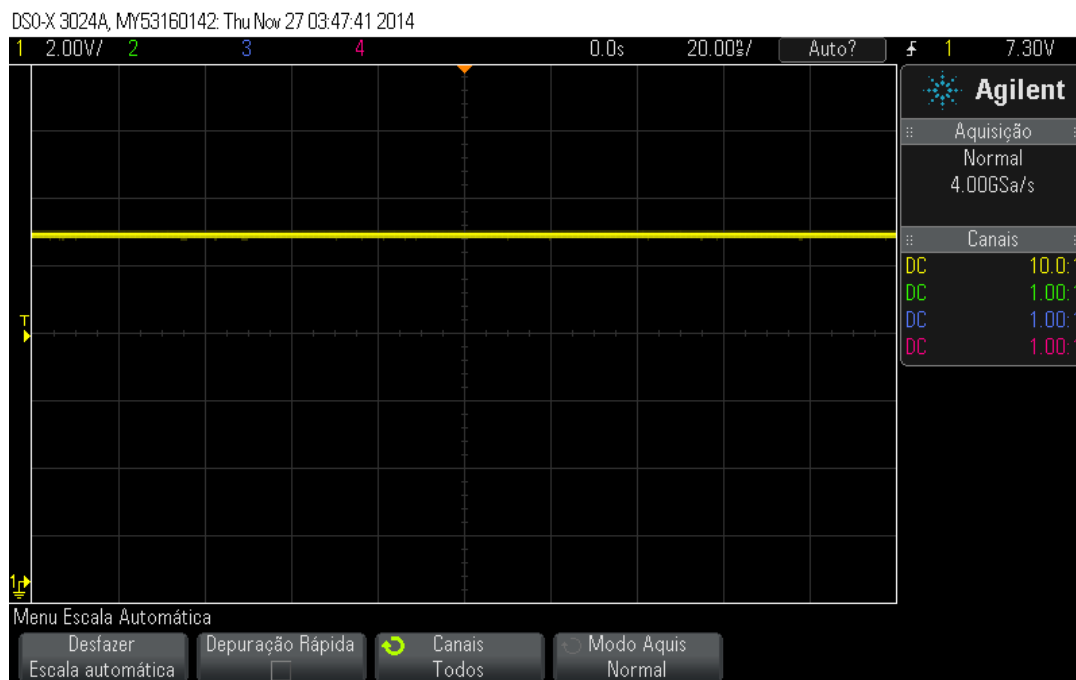


**Gráfico 4.3 – Gráfico do Funcionamento do Retificador (Fonte – Autor)**

O sinal alternado da saída do transformador de tensão serve de alimentação para a ponte retificadora. A ponte retificadora consegue retificar o sinal corretamente, gerando uma corrente contínua pulsante. Para que fosse possível verificar o funcionamento do retificador, a medição do Gráfico 4.3 foi realizada apenas na ponte de diodos, sem a participação do capacitor eletrolítico no circuito.

Com a inserção do capacitor no circuito retificador, a tensão contínua pulsante se torna tensão contínua pura, podendo assim servir de alimentação para a lanterna de emergência ou para a bateria recarregável.





**Gráfico 4.4 – Gráfico do Funcionamento do Retificador com Capacitor (Fonte – Autor)**

#### 4.1.5. Cenário 5 - Teste do Leitor de Tensão

Na realização desse teste, são utilizados um multímetro Tozz DT-830B e uma fonte de tensão Minipa MPC – 3006D.

Para certificar que o leitor de tensão esteja fazendo as leituras das tensões corretamente, um multímetro é utilizado para comparar o resultado das medições de 5 valores de tensão diferentes, e o resultado da comparação está representado na tabela 4.2. Os valores então apresentados em Volts.

**Tabela 4.2 – Tabela de Comparação da Leitura de Tensões em Volts (Fonte – Autor)**

Fonte de Tensão	Leitor de Tensão	Multímetro (voltímetro)
1,53	1,52	1,54
2,70	2,68	2,70
3,52	3,50	3,51

4,31	4,31	4,31
5,00	5,01	5,00

Os resultados obtidos com o leitor de tensão foram satisfatórios, já que a diferença entre as leituras feitas pelo leitor e as leituras do multímetro foi pequena, inferior a 0,05 Volts.

#### 4.1.6. Cenário 6 - Teste de Utilização de Energia

Depois de ter seu valor aumentado, a tensão gerada servirá como fonte de alimentação para uma lanterna formada por 12 LEDs de alta luminosidade. Caso a luminosidade gerada pela lanterna não seja útil no momento (como em uma situação em que haja luminosidade natural), a energia gerada será armazenada em uma bateria de 3,6 V, podendo ser utilizada posteriormente como fonte de alimentação para aparelhos eletrônicos de baixa tensão. Para realizar esse teste é necessário um multímetro Minipa MDM – 8146, uma fonte de tensão Minipa MPC – 3006D e um secador de cabelos Tany Blue 2000.

Nesse cenário o protótipo será montado por completo e a tensão resultante será usada para alimentar a lanterna ou a bateria recarregável. A Tabela 4.3 nos mostra os resultados obtidos utilizando ventos com diferentes velocidades.

**Tabela 4.3 – Tensão Gerada pelo Protótipo (Fonte – Autor)**

VEL (m/s)	TM (V)	TL (V)	IeL (mA)	PL (mW)	TB (V)	IeB (mA)	PB (mW)	TSLB (V)
4,5	0,57	2,36	0,40	0,94	0,98	0,52	0,51	3,22
5,0	0,58	2,37	0,48	1,14	1,03	0,57	0,59	3,38
5,5	0,58	2,39	0,54	1,29	1,23	0,59	0,73	3,50
6,0	0,58	2,40	11,32	27,17	1,41	0,55	0,78	3,63
6,5	0,59	2,42	35,23	85,25	1,61	0,52	0,84	4,22

7,0	0,59	2,46	39,02	95,99	2,43	39,75	96,59	4,54
7,5	0,59	2,49	45,76	113,94	2,92	41,50	121,18	4,70
8,0	0,60	2,50	50,09	125,23	3,28	45,31	148,62	4,83
8,5	0,60	2,51	55,68	139,76	3,40	55,06	187,20	4,91

**Legenda:**

VEL: Velocidade do vento em m/s

TM: Tensão gerada pelo motor em volts

TL: Tensão de saída com a lanterna de LED ligada em volts

IeL: Corrente de entrada com a lanterna de LED ligada em mili amperes

PL: Potência gerada com a lanterna de LED ligada em mili Watts

TB: Tensão de saída com a bateria ligada em volts

IeB: Corrente de entrada com a bateria em mili amperes

PB: Potência gerada com a bateria ligada em mili Watts

TSLB: Tensão de saída sem a luz e a bateria em volts

## **CAPÍTULO 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

### **5.1. Conclusões**

O sistema foi capaz de gerar energia elétrica utilizando as forças do vento de forma alternativa e limpa sem a emissão de gases poluentes. A energia gerada serviu como fonte de alimentação para uma carga elétrica de teste de 4,5 Volts, ou foi utilizada para carregar uma bateria recarregável. Levando em conta os testes realizados, todos os blocos do projeto obtiveram resultados satisfatórios.

O gerador eólico foi capaz de gerar energia elétrica em corrente contínua através da rotação de uma hélice com uma tensão suficiente para que o sistema funcione de maneira eficiente.

O multivibrador astável oscilou o sinal de entrada de forma correta, gerando uma tensão de pico a pico de 270 mV. O transformador conseguiu elevar a tensão de pico a pico de 270 mV para 21,7 V, e a ponte retificadora retificou o sinal alternado de maneira adequada, transformando a energia elétrica que se encontrava em corrente alternada em corrente contínua.

O divisor resistivo e o microcontrolador Arduino Uno atuaram em conjuntos para fazer as leituras das tensões geradas, e como a diferença das leituras entre o Arduino e o multímetro apresentada no teste do leitor de tensão foi muito pequena, considera-se que o leitor consegue fazer leituras corretas.

Como esperado, a tensão gerada pelo protótipo foi suficiente para acender uma lanterna de LED ou carregar uma bateria recarregável, caso a luminosidade da lanterna não seja necessária no momento.

Apesar de ter sido feito em escala reduzida e com testes feitos em laboratório, utilizando um aparelho elétrico para gerar vento, não sendo testado em um cenário real, o objetivo geral do projeto foi atingido, pois o protótipo foi capaz de gerar energia elétrica de forma limpa, sem emissão de poluentes, e utilizando o vento como fonte inesgotável de energia.

### **5.2. Sugestões para projetos Futuros**

Considerando a dificuldade encontrada na construção da hélice, uma sugestão para projeto futuro seria a construção desse protótipo em escala real, de modo que seja encontrado um material resistente o bastante para aguentar as forças do vento e leve para não atrapalhar a sua rotação.

A utilização de um sistema de engrenagens seria extremamente interessante, pois faria com que cada volta da hélice do gerador eólico resultasse em várias voltas no motor gerador, fazendo com que ele produza uma quantidade maior de energia elétrica.

Outros motores geradores de corrente contínua também poderiam ser utilizados. Existem diversos outros tipos desses motores, e alguns deles são capazes de gerar uma grande quantidade de energia elétrica com uma rotação mais baixa, se mostrando mais interessantes em um protótipo em escala real. Como exemplo desse tipo de motor, temos o motor do prato de um micro-ondas, que com apenas 3 rotações por minuto consegue gerar até 220 Volts de energia elétrica.

Outra proposta seria realizar um estudo econômico em relação a utilização de energia produzida por esse protótipo, e avaliar a possibilidade de produzi-lo em escala comercial a um baixo custo no mercado atual, de modo que possa alcançar o maior número de pessoas possível.

## REFERÊNCIAS

- AHMED, A. **Eletrônica de Potência**. 1ª. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2000.
- ARRABAÇA, D. A.; GIMENEZ, S. P. **Eletrônica de Potência - Conversores CA/CC teoria, prática e simulação**. 1ª. ed. São Paulo: Erica, 2014.
- BRAGA, N. C. **Instituto Newton C. Braga**, 2014. Disponível em: <<http://www.newtoncbraga.com.br/>>. Acesso em: 19 Setembro 2014.
- BROPHY, J. J. **Eletrônica Básica**. 3ª. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1978.
- DUTRA, R. M. **Alternativas Energéticas Sustentáveis no Brasil**. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 2004.
- FITZGERALD, A. E.; KINGSLEY, C.; UMANS, S. **Máquinas Elétricas com Introdução a Eletrônica de Potência**. 6ª. ed. [S.l.]: Bookman, 2006.
- GELLER, H. S. **Revolução Energética: políticas para um futuro sustentável**. 1ª. ed. [S.l.]: Relume Dumará, 2003.
- HINRICHS, R. A. **Energia e Meio Ambiente**. tradução da 4ª edição americana. ed. [S.l.]: Cengage Learning, 2011.
- MALVINO, A.; BATES, D. J. **Eletrônica**. Tradução da 7ª. ed. São Paulo: McGraw-Hill, v. I, 2007.
- MCROBERTS, M. **Arduino Básico**. 1ª. ed. [S.l.]: Novatec, 2011.
- MINISTÉRIO de Minas e Energia - Balanço Energético Nacional. **Empresa de Pesquisa Energética**, 2014. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/BENRelatorioSintese2014.aspx>>. Acesso em: 2 Setembro 2014.
- NISE, N. S. **Engenharia de sistemas de controle**. 6ª. ed. [S.l.]: Ltc - Grupo Gen, 2012.
- OGATA, K. **Engenharia de Controle Moderno**. 4ª. ed. [S.l.]: Pearson Education do Brasil, 2005.
- PEREIRA, E. **Série energia e sustentabilidade - Energias Renováveis**. [S.l.]: Edigar Blucher, 2012.
- RUSSEL, J. B. **Química Geral**. 2ª. ed. [S.l.]: Makron Books, v. II, 1994.
- TOLMASQUIM, M. T. **Fontes Renováveis de Energia no Brasil**. 1ª. ed. [S.l.]: Interciência, 2003.

TOLMASQUIM, M. T. **Alternativas Energéticas Sustentáveis no Brasil**. Rio de Janeiro: Relume Dumara, 2004.

TORO, V. D. **Fundamentos de máquinas elétricas**. [S.l.]: LTC, 1999.

ZILES, R.; BENEDITO, R. **Série energia e sustentabilidade - Energias Renováveis**. [S.l.]: Edigar Blucher, 2012.

## APÊNDICE A – CÓDIGO DO LEITOR DE TENSÃO

```
#include <LiquidCrystal.h> //Inclui a biblioteca do LCD
```

```
LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2); //Configura os pinos do Arduino para se  
comunicar com o LCD
```

```
int analogInput = 0;
```

```
float tensaodesaida = 0.0;
```

```
float tensaodeentrada = 0.0;
```

```
float R1 = 20000.0; // Resistência de R1 (20K)
```

```
float R2 = 10000.0; // Resistência de R2 (10K)
```

```
int tensaolida = 0;
```

```
void setup()
```

```
{
```

```
  lcd.begin(16, 2);
```

```
  lcd.setCursor(0, 0); //Posiciona o cursor na primeira coluna(0) e na primeira  
linha(0) do LCD
```

```
  lcd.print("Tensao Gerada:");
```

```
  pinMode(analogInput, INPUT);
```

```
}
```

```
void loop()
```

```
{
```

```
  Serial.begin(9600);
```



```
tensaolida = analogRead(analogInput);

tensaodesaida = (tensaolida * 5.0) / 1024.0; // Regra de três

tensaodeentrada = tensaodesaida / (R2/(R1+R2)); // divisor resistivo

if (tensaodeentrada<0.09) {

tensaodeentrada=0.0;// Lituras indesejadas

}

lcd.setCursor(0, 1);

lcd.print(tensaodeentrada);

lcd.setCursor(6, 1);

lcd.print("Volts");

delay(500);

}
```